

REGIONE PIEMONTE

Assessorato ai Trasporti e alla Viabilità

SISTEMA FERROVIARIO REGIONALE

Considerazioni sul materiale rotabile per il  
traffico pendolare



Assessorato Regionale ai Trasporti e alla Viabilità, Torino

CSST - Centro Studi sui Sistemi dei Trasporti, Roma

IRES - Istituto Ricerche Economico-Sociali, Torino

# I N D I C E

1. <u>Premessa</u>	Pag.	1
2. <u>Orientamenti costruttivi ed esigenze di esercizio del più attuale materiale rotabile del tipo automotore, diesel ed elettrico</u>	"	8
2.1 I rotabili esaminati	"	8
2.2 Composizione base della unità automotrici; organi di aggancio	"	10
2.2.1 Accoppiamento di più unità	"	11
2.2.2 Organi di aggancio	"	12
2.3 Dimensioni geometriche e utilizzazione delle superfici	"	13
2.4 Numero di posti in I e II ed in piedi, toilettes, bagagliai	"	15
2.5 Porte di accesso, scalini, vestiboli, intercomunicanti	"	19
2.6 Struttura metallica, criteri costruttivi e materiale impiegato	"	25



2.7	Confort , abitabilità, arredamento	pag.	32
2.7.1	Sospensioni	"	32
2.7.2	Sedili	"	33
2.7.3	Materiali	"	35
2.7.4	Ventilazione e riscaldamento	"	35
2.7.5	Rumorosità	"	35
2.7.6	Illuminazione	"	36
2.7.7	Ritirata	"	36
2.8	Prestazioni, in trazione e frenatura	"	36
2.8.1	Velocità massima, accelerazione iniziale e accelerazione residua	"	36
2.8.2	Utilizzazione della potenza	"	41
2.8.3	Valori del peso aderente e dell'aderenza minima necessaria	"	44
2.9	L'apparato motore	"	46
2.10	Rapporto numero assi motori / numero assi portanti	"	48
2.11	Impiego dell'elettronica di potenza	"	50
2.12	Sistema di frenatura	"	55
2.13	Diametro ruote, passo carrelli	"	57
	Appendice al § 2.11	"	58 + 74



3.	<u>Caratteristiche generali delle carrozze</u>	pag.	75
3.1	Carrozze per servizi del 2° tipo	"	75
3.2	Composizione massima dei convogli; organi di aggancio	"	75
3.3	Dimensioni geometriche ed utilizza <u>z</u> zione delle superfici	"	77
3.4	Numero di posti, toilettes, bagagliai	"	80
3.5	Porte di accesso, scalini, vestiboli, intercomunicanti	"	82
3.6	Struttura metallica e materiale impiegato	"	85
3.7	Sospensioni, arredamento, abitabilità	"	85
3.8	Prestazioni in trazione e frenatura	"	86
3.9	Diametro ruote, passo carrelli	"	86
4.	<u>Ricerca del campo di convenienza delle automotrici (M+R) nei confronti dei treni convenzionali (L+C)</u>	"	87
4.1	Premessa	"	87
4.2	Considerazioni tecniche	"	90
4.2.1	Peso del convoglio	"	90
4.2.2	Carico assiale	"	91
4.2.3	Rapporto tra peso aderente e peso totale	"	93
4.2.4	Freni e organi di aggancio	"	95



4.3	Considerazioni economiche	pag.	96
4.3.1	Prezzi del materiale rotabile	"	96
4.3.2	Costo di manutenzione e riparazione	"	100
4.3.3	Consumo di energia o di combustibile	"	102
4.4	Considerazioni commerciali	"	102
4.5	Considerazioni di esercizio	"	103
4.6	Conclusioni	"	107
4.6.1	Prima fascia: convenienza assoluta per le automotrici	"	107
4.6.2	Seconda fascia: convenienza assoluta per i treni convenzionali	"	107
4.6.3	Terza fascia: convenienza incerta fra i due sistemi	"	108

Allegato A - Caratteristiche generali dei rotabili esaminati	"	115
---	---	-----



1. PREMESSA

"La Regione Piemonte ha individuato tra gli elementi che possono favorire un netto miglioramento dei servizi ferroviari di interesse locale, da un lato, un aumento quantitativo del parco del materiale rotabile e, dall'altro, uno sforzo di ammodernamento e di innovazione delle caratteristiche del materiale rotabile per adeguarlo meglio alle esigenze dei servizi stessi. A questo proposito tra i programmi di lavoro vi è quello dedicato all'individuazione delle tendenze tecnologiche in atto in Italia ed all'estero in questo campo e, soprattutto su questo terreno, la Regione non esclude un intervento diretto".(\*)

\* \* \*

Il materiale ferroviario in genere viene ovunque mantenuto in esercizio per un lungo periodo di anni e perciò non sfugge, almeno nell'ultimo scorcio della sua vita economica, ad una valutazione di obsolescenza che ne mortifica anche l'utilizzazione nei confronti del materiale di più recente acquisto.

Se si considera che dal momento in cui si fa la scelta passano almeno due o tre anni prima di disporre dei rotabili (tenuto conto sia del tempo delle trattative e perfezionamento contratti, sia del periodo di consegna che non può per ragioni econo-

---

(\*) IL PIANO DEI TRASPORTI IN PIEMONTE: OBIETTIVI E LINEE DI AZIONE  
Sante Bajardi:

"La politica dei trasporti nella programmazione regionale e nazionale"  
Editrice EDA



miche produttive essere troppo breve) e che una vita di 30-35 anni è il minimo su cui si debba contare, si fa presto a concludere che il materiale di cui oggi si decide l'acquisto sarà ancora in servizio agli albori del prossimo secolo.

Sembra perciò raccomandabile che il nuovo materiale venga impo- stato tenendo nel massimo conto le esigenze più attuali e le tecnologie più moderne, senza peraltro correre l'avventura di innovazioni molto spinte, la cui messa a punto deve essere riservata a prototipi o preserie.

Perchè le attuali tendenze nella costruzione e nell'impiego possano più agevolmente essere individuate, si sono esaminati singolarmente i vari problemi, concernenti le prestazioni, la capacità, il comfort, l'esercizio, ecc., facendo riferimento al materiale più moderno già in servizio sulle reti dell'Europa Occidentale.

\* \* \*

In Piemonte, il fenomeno della pendolarità su ferrovia per ragioni di lavoro e di studio è largamente diffuso ed estremamente differenziato.

Diffuso, perchè tutte, o quasi, le linee sono interessate da spostamenti pendolari.

Differenziato, perchè diversi sono i volumi di traffico che im- peggiano le linee e perchè diverse sono le caratteristiche tecnici



che delle linee.

In generale si presentano tre casi:

- linee a trazione diesel impegnate da ridotti volumi di traffico;
- linee a trazione elettrica, impegnate da ridotti volumi di traffico;
- linee a trazione elettrica, impegnate da elevati volumi di traffico.

Per conseguenza, l'attenzione è stata rivolta al:

- materiale rotabile diesel;
- materiale rotabile elettrico.

Ancora, nell'ambito del materiale rotabile elettrico, sono state esaminate le due soluzioni:

- treni a potenza ripartita, ovvero costituiti da vetture automotrici (M) fra le quali è ripartita la potenza del treno ed, eventualmente, da vetture rimorchiate (R);
- treni a potenza concentrata, ovvero costituiti da una locomotiva (L) che traina delle carrozze (C).

Nell'ambito della trazione diesel è stata invece esaminata la sola soluzione con materiale automotore, in quanto la domanda di trasporto sulle linee non elettrificate non è mai tale da giustificare l'impiego della soluzione "locomotiva diesel + carrozze".

\* \* \*

L'indagine è stata estesa ai seguenti 6 Paesi, oltre l'Italia:



Austria, Belgio, Francia, Germania Occidentale, Inghilterra, Svizzera.

Per la raccolta delle informazioni ci si è rivolti, anzichè ai costruttori, alle Aziende Ferroviarie di Stato (\*). Ciò essenzialmente per tre motivi:

- perchè, anche dove la progettazione non è effettuata direttamente dalla Azienda Ferroviaria, questa influisce sempre in modo profondo sulle caratteristiche fondamentali e nelle diverse fasi della progettazione;
- perchè alla costruzione di un treno concorrono generalmente più costruttori, ognuno per la parte di propria competenza, e di conseguenza ciascun costruttore avrebbe potuto fornire informazioni settoriali, relative alle singole componenti, a scapito dell'informazione più ampia sul complesso del convoglio;
- perchè le Aziende Ferroviarie sono in grado di fornire, oltre alle caratteristiche di progetto e costruttive, un giudizio su pregi, difetti, affidabilità delle singole soluzioni, maturato nell'esperienza quotidiana di esercizio.

\* \* \*

Tutte le Aziende Ferroviarie suddette dispongono di materiale rotabile moderno, efficiente e già collaudato da un periodo di impiego sufficientemente lungo.

E' giusto però mettere in guardia - noi che abbiamo di fronte la situazione italiana - dal credere che i rotabili analizzati nel presente lavoro siano rappresentativi del parco rotabile per servizi suburbani delle rispettive Aziende. Essi piuttosto rap-

---

(\*) L'apposito questionario è stato inviato per vero ad una sola società costruttrice: la SOCFIMI di Milano. Si è pensato infatti che, data anche la notevole campagna pubblicitaria di questi ultimi tempi, fosse utile raccogliere informazioni sui treni allo studio di questa ditta, nonostante che nessun esemplare sia ancora impiegato in Europa. Purtroppo però, nonostante una promessa di risposta e successivi solleciti, le informazioni richieste non ci sono state fornite.



presentano il "fiore all'occhiello" di ogni Azienda, sono stati costruiti sinora in un numero limitato di esemplari e vengono impiegati su pochissime linee afferenti ai centri urbani principali dei diversi Paesi.

Del resto, si è ritenuto che fosse più utile, ai fini del presente lavoro, approfondire le conoscenze su questi pochi treni tecnologicamente più avanzati, che non estendere l'indagine ad un numero più vasto di treni impiegati dalle varie Aziende nei servizi vicinali, dai quali non avremmo potuto trarre che scarse indicazioni.

In particolare appare, dalla letteratura specializzata degli ultimi anni e dal materiale fornito dalle singole Aziende, che i maggiori sforzi di innovazione tecnologica sono stati concentrati sui treni elettrici automotori.

Tutte le suddette Aziende hanno messo in esercizio negli ultimi anni nuovi treni automotori elettrici, specializzati per servizi suburbani, la cui progettazione risale, a seconda dei casi, a 5-10 anni fa.

L'unica eccezione è proprio l'Italia, i cui treni ALe risalgono a più di 10 anni fa, ma che si sta mettendo rapidamente al passo in quanto è in costruzione il nuovo modello (GAI) di treno ALe.

Per contro, minori sono le innovazioni nel campo della trazione diesel: tutti i materiali esaminati (Francia, Germania, Italia) risalgono ormai a diversi anni fa. Ciò è però pienamente spiegabile col fatto che in questo campo non si è molto distanti dall'ottimo, e l'Italia occupa una posizione di punta.

Minori sembrano essere anche le innovazioni nel campo della tra



zione elettrica con treni convenzionali, a locomotiva + carrozze. La maggiore novità è costituita dalla vettura a due piani francese, recentemente impiegata sperimentalmente anche in Italia.

Il fatto più interessante in questo campo è però che la specializzazione per servizi suburbani ha riguardato soltanto, in qualche caso, le carrozze e non le locomotive. In altre parole, esistono carrozze specializzate per il trasporto dei pendolari, ma manca un treno, composto da locomotiva e carrozze, specializzato per questo tipo di servizio.

E' questo, come si vedrà, il campo in cui maggiori sono le possibilità di innovazione.

\* \* \*

Nel cap. 2 del presente rapporto sono analizzati gli orientamenti costruttivi del più moderno materiale rotabile del tipo automotore, diesel ed elettrico.

Nel cap. 3 sono analizzati gli orientamenti costruttivi delle esperienze più significative di carrozze specializzate per servizi suburbani.

Nel cap. 4 si procede alla definizione dei vantaggi e degli svantaggi dei treni automotori e dei treni convenzionali ed all'individuazione dei rispettivi campi di convenienza.

Viene altresì avanzata una proposta di larga massima di materiale rotabile che potrebbe costituire la soluzione preferibile, dal pun



to di vista delle prestazioni e dell'economicità, per il trasporto dei pendolari sulle linee elettrificate ad elevata domanda, del Piemonte.



2. ORIENTAMENTI COSTRUTTIVI ED ESIGENZE DI ESERCIZIO DEL PIU' ATTUALE MATERIALE ROTABILE DEL TIPO AUTOMOTORE, DIESEL ED ELETTRICO,

2.1. I rotabili esaminati

I rotabili esaminati sono elencati nella tabella 2.1 seguente:

TAB. 2.1 ROTABILI AUTOMOTORI PRESI IN ESAME (\*)

			SERIE
ITALIA FS	Automotrici Diesel		ALn 668
	Elettromotrici a c.c., 3 kV	quadruple	ALe 644 e 804 (GAL)
		quadruple	ALe 801/940
BELGIO SNCB	Elettromotrici a c.c., 3 kV	doppie	06
		quadruple	08
GERMANIA DB	Elettromotrici $16 \frac{2}{3}$ Hz, 15 kV	triple	420
	Elettromotrici a c.c., 1,2 kV	triple	472
	Automotrici Diesel		627
	Automotrici Diesel	doppie	628
GRAN BRETAGNA BR	Elettromotrici bitensione	triple	313
	c.c., 750 V; c.a., 50 Hz, 25 kV		
FRANCIA SNCF	Elettromotrici 50 Hz, 25 kV	quadruple	Z 6400
	Elettromotrici a c.c., 1,5 kV	quadruple	Z 5300
	Automotrici Diesel	triple	XBD 4900
SVIZZERA SBB	Elettromotrici $16 \frac{2}{3}$ Hz, 15 kV	triple	RABDe 12/12
		quadruple	RABDe 8/16
AUSTRIA ÖBB	Elettromotrici $16 \frac{2}{3}$ Hz, 15 kV	triple	4030

(\*) Nel testo si farà riferimento ad un altro tipo di rotabile: le automotrici Diesel elettriche articolate tedesche della Compagnia Ferroviaria AKN (Amburgo). Per questo rotabile non è stato possibile reperire la documentazione completa; le informazioni riportate nel testo sono state tratte da articoli pubblicati su riviste specializzate.

(\*\*) Le motrici ALe 644 accoppiate alle rimorciate Le 724 costituiscono la versione con porte per fiancata; le motrici ALe 804 accoppiate alle rimorciate Le 884 costituiscono la versione con 2 porte per fiancata.



Il materiale esaminato si può suddividere, per ciò che attiene il tipo di servizio per il quale è stato destinato dalle differenti Amministrazioni ferroviarie, in tre tipi e precisamente:

- 1° tipo = Treni appositamente studiati e realizzati per risolvere precise esigenze di traffico su di una particolare linea o su un gruppo di linee gravitanti su di una grande città. Appartengono a questo tipo: i treni RABDe 12/12 della SBB (costruiti per il collegamento Zurigo-Rapperswil, 36 Km di percorrenza con stazioni ogni 2,1 Km ed orario cadenzato di 30'); i treni della DB ET 472 (S.Bahn di Amburgo) ed ET420 (Monaco), le automotrici Diesel articolate AKN della regione di Amburgo e il 313 delle BR (in servizio nella conurbazione londinese);
- 2° tipo = Treni studiati e realizzati per risolvere generiche esigenze di traffico ferroviario a breve raggio, con fermate frequenti su linee e per servizi che possono avere caratteristiche anche assai diverse fra loro. Appartengono a questo tipo i treni :RABDe 8/16 della SBB; ET4030 delle ÖBB; Z6400 e Z5300 della SNCF; ALe 201/940 e G.A.I. delle FS; ALn 668 delle FS; 627 -628 della DB e XBD4300 della SNCF;
- 3° tipo = Treni studiati e realizzati nel tentativo di risolvere, con un unico treno, i problemi di due differenti tipi di servizi: quello locale e quello a media percorrenza. Appartengono a questo tipo i treni serie 06 e serie 08 della SNCF.



## 2.2 Composizione base della unità automotrice; organi di aggancio

Nella definizione della composizione base della unità indivisibile contrastano due opposte esigenze.

Da un lato conviene avere unità singole, di piccole dimensioni ed accoppiabili in gran numero con comando multiplo per poter rispondere con un solo tipo di materiale a tutte le esigenze del traffico spesso fortemente mutevoli sulle diverse relazioni; mentre dall'altro lato unità più grandi, formate da più vetture in composizione indivisibile, hanno un peso ed un costo, di acquisto e di esercizio, riferiti al posto, notevolmente più bassi rispetto alle unità singole.

L'economia deriva dal minor numero di cabine di guida e di apparecchiature di trazione in genere ed in particolare, per il materiale elettrico, dei motori di trazione e di certi apparecchi (p. es. pantografi ed interruttori principali) le cui dimensioni e costo sono dettate dalla tensione più che dalla potenza. Inoltre certi impianti (fornitura aria compressa, carica batterie, ecc.), i cui costi crescono meno che linearmente con la potenza, possono essere concentrati su una sola vettura delle composizione. In una recentissimo studio del VÖV (Unione delle imprese di trasporto pubbliche tedesche) si dimostra che una unità lunga 70m, formata da tre carrozze su sei carrelli, ha un peso per posto del 25% inferiore ad un'unità singola di 20 m ed un costo (sempre per posto) del 32% inferiore. Queste differenze compensano largamente il fatto che con un'unità più grande in alcune ore del giorno si viaggia con un coefficiente di occupazione più basso.



Difatti nelle soluzioni esaminate, soltanto nella trazione diesel troviamo automotrici (DB 627 e FS 668) impiegabili singolarmente; in trazione elettrica tutte le composizioni sono plurime, con una forte prevalenza di soluzioni a 3 o 4 pezzi

3 pezzi 420, 472; RABDe 12/12; 4030; 313

4 pezzi Z5300; Z6400; RABDe 8/16; ALe 644/804; ALe 801/940; 06; 08.

Riferendosi alla suddivisione fatta al § 2.1, si rileva che, per i treni del 2° tipo, è generalmente impiegata la composizione base di quattro unità per motrici e rimorchiate, per una lunghezza complessiva di treno di circa 100 metri.

Compatibilmente cioè con i vincoli dei pesi per asse ammessi, non esistendo per i treni di questo tipo generalmente problemi di sagoma-limite, la tendenza è quella di impiegare casse lunghe del tipo delle carrozze, con evidenti conseguenze di economicità.

Per i treni del 1° e del 3° tipo ovviamente le soluzioni, sia per composizione che per lunghezza delle casse, sono confacenti al particolare tipo di servizio per cui sono state studiate.

### 2.2.1. Accoppiamento di più unità

Le unità si uniscono a due o a tre formando treni di 6-8 carrozze; composizioni maggiori sono eccezionali. La RABDe 8/16 può essere congiunta fino a 4 unità di 4 pezzi ciascuna, formando così un treno di 16 carrozze, ma è una possibilità che non c'è interesse a sfruttare, perché oltre una certa composizione costa certamente meno un treno formato da locomotiva e carrozze, di un corrispondente treno di automotrici. (\*)

---

(\*) Vedasi capitolo 4, sul confronto tra treni a potenza ripartita (motrici e rimorchiate) e treni a potenza concentrata (locomotiva + carrozze).



Per alcuni tipi di esercizio, prevalentemente per la trazione Diesel, può essere economicamente vantaggioso non prevedere rotabili con il comando multiplo, ma l'esercizio con due guidatori (doppia trazione).

Si rileva comunque che, per treni a carattere suburbano, il comando in multipla nella trazione elettrica è praticamente generalizzato; ciò deriva anche dal fatto che, trattandosi spesso di treni con più motrici nella composizione base, la predisposizione dei treni per il comando in multipla non comporta gravi problemi né dal punto di vista tecnico né da quello economico.

#### 2.2.2. Organi di aggancio

Per gli organi di aggancio si usano alle estremità accoppiatori automatici, di solito Scharfenberg, che oltre all'accoppiamento meccanico garantiscono quello dei circuiti elettrici a bassa tensione e due condotte per l'aria compressa.

Fra le carrozze di una stessa unità l'accoppiamento è limitato ad una barra rigida con castelletti elastici prevalentemente ad anelli di acciaio (Ringfeder).

Per le automotrici belghe 06 e 08 e per i treni delle FS l'accoppiamento intermedio è realizzato con un normale gancio di trazione.

Nelle elettromotrici 313 inglesi l'accoppiamento automatico è preceduto dall'apertura di tutti i circuiti elettrici, in modo che i contatti siano senza tensione e non si produca il tipico scintillio molto dannoso alla buona conservazione.



### 2.3. Dimensioni geometriche ed utilizzazioni delle superfici

Quanto più la vettura si allunga, tanto più essa si fa stretta (correzione in curva per la freccia fra la corda e l'arco) e tanto più cresce con l'aumentare dei momenti flettenti il peso della struttura per metro lineare. Viceversa in una vettura più lunga è minore l'incidenza degli spazi improduttivi, riferita ai posti disponibili.

Le soluzioni esaminate stanno quasi tutte fra i 22 ed i 24 metri di lunghezza ad eccezione delle FS 644 e 804 lunghe 26,15 m, delle FS ALe 801 (25,92 m), della RABDe 8/16 (25 m), del 08 (24,75 m), della Z5300 (25,92 m). Sono più corte la 313 inglese (19,80 m), che avendo una sagoma limite già molto più ridotta dello standard europeo non può sopportare una eccessiva ulteriore riduzione di larghezza, e la AKN di Amburgo in cui, per capitolato, si doveva tenere conto di un certo impianto di officina che non poteva ricevere vetture lunghe più di 15 metri.

La larghezza è sempre compresa fra i 2800 ed i 2950 mm.

Nella tab.2.2 è riportato, per i treni esaminati, la utilizzazione percentuale delle superfici (\*). Da questa tabella si rileva che, sui treni elettrici, i servizi (cabine di guida, apparecchiature etc.) occupano nella quasi totalità dei casi il 9+ 12% della superficie totale (fanno eccezione i soli treni francesi Z5300, 5,2%, Z6400 7,3%, l'inglese 313 13,4%, ed il treno belga 08, 14,5%). mentre sui materiali diesel, la superficie utilizzata per i servizi è decisamente maggiore ed oscilla tra il 15 e il 20% circa della superficie totale.

---

(\*) La superficie totale, rispetto alla quale sono riferite l'utilizzazione percentuale dei servizi, dei corridoi, etc., è stata calcolata moltiplicando la larghezza del rotabile per la sua lunghezza nella composizione base.



Tabella 2.2

Utilizzazione percentuale delle superfici

	1° TIPO				LR	SBB	ÖBB	2° TIPO					3° TIPO				
	SBB 12	DB 420	DB 472	DB 472				SNCF	SNCF	SNCF	FS	FS	FS	FS	DB	DB	SNCB
	RABD 12				113	RABD 8	4030	76400	75300	4900	ALe801	G.A.I.	Aln668	627	628	06	06
Composizione	M+M+M	M+M+M	M+M+M	M+M+M	M+F+M	M+R+R+M	M+R+R	M+R+R+M	M+R+R+M	M+R+M	M+R+R+M	M+R+R+M	M	M	M+M	M+M	R+M+M
lunghezza tot.	73700	67400	65820	65820	60533	100000	70060	92430	102800	63230	107450	101600	23540	22500	44350	46615	99800
%	10.5	11.3	8.9	8.9	13.4	10.2	12.9	7.3	5.2	17.1	9.5	10.2	21.0	16.3	13.7	11.1	14.5
%	48.2	46.6	48.9	48.9	57.3(*)	47.5	47.7	56.4 *	50.9 *	49.6	50.0	49.4	48.8	50.4	52.6	57.5 *	52.2
%	33.4	38.9	42.2	42.2	29.3	37.2	37.6	32.7	37.7	20.9	35.3	38.0	23.0	24.9	23.2	24.3	27.7
%	2.6	-	-	-	-	1.8	1.8	-	2.3	2.4	2.4	2.4	2.9	2.9	2.8	2.9	2.0
%	5.3	3.2	-	-	-	3.3	-	3.6	3.9	10.0	2.8	-	4.3	5.5	7.7	4.2	3.6
Composizione	M+M+M	M+M+M	M+M+M	M+M+M	M+F+M	M+R+R+M	M+R+R	M+R+R+M	M+R+R+M	M+R+M	M+R+R+M	M+R+R+M	M	M	M+M	M+M	R+M+M
lunghezza tot.	73700	67400	65820	65820	60533	100000	70060	92430	102800	63230	107450	101600	23540	22500	44350	46615	99800
%	10.5	11.3	8.9	8.9	13.4	10.2	12.9	7.3	5.2	17.1	9.5	10.2	21.0	16.3	13.7	11.1	14.5
%	48.2	46.6	48.9	48.9	57.3(*)	47.5	47.7	56.4 *	50.9 *	49.6	50.0	49.4	48.8	50.4	52.6	57.5 *	52.2
%	33.4	38.9	42.2	42.2	29.3	37.2	37.6	32.7	37.7	20.9	35.3	38.0	23.0	24.9	23.2	24.3	27.7
%	2.6	-	-	-	-	1.8	1.8	-	2.3	2.4	2.4	2.4	2.9	2.9	2.8	2.9	2.0
%	5.3	3.2	-	-	-	3.3	-	3.6	3.9	10.0	2.8	-	4.3	5.5	7.7	4.2	3.6

\* disposizione 3+2 in II classe  
\* nella versione con 2 porte per fiancata.



La superficie utilizzata per i sedili è generalmente pari al 47 + 52% della superficie totale, con tre sole eccezioni: il francese Z 6400 (56,4%), l'inglese 313 (57,3%) ed il belga 06 (57,5%).

La superficie utilizzata per i vestiboli e per i corridoi, ovvero la superficie disponibile per i viaggiatori in piedi, oscilla, per i rotabili elettrici, tra il 33 ed il 39% della superficie totale, con pochissime eccezioni: i belgi 06 e 08, e l'inglese 313 che presentano percentuali molto minori, rispettivamente 24,3, 27,7% e 29,3% ed il tedesco 472 che presenta una percentuale superiore, 42,2%, ma che però non è dotato di toilettes e bagagliaio; la percentuale di superficie utilizzata per vestiboli e corridoi è invece decisamente minore sui treni diesel ed oscilla tra il 21 ed il 25% della superficie totale.

Praticamente identica è la percentuale di superficie riservata alle toilettes e precisamente pari al 2-3%; fanno eccezione i treni S. Bahn tedeschi (420 e 472), l'inglese 313 e il francese Z6400 che non dispongono di toilettes.

La superficie utilizzata per il bagagliaio, sui treni che ne dispongono, è generalmente pari al 3-5% della superficie totale.

#### 2.4. Numero di posti in I e II ed in piedi, toilettes, bagagliai.

Le statistiche europee rivelano una calante proporzione di viaggiatori (paganti) di prima classe: quasi ovunque si è nettamente al di sotto del 10%. Cionondimeno vi è una certa riluttanza a rompere con la tradizione che pone ancora la proporzione di posti offerti in prima classe intorno al 20%; ne deriva di conseguenza una insoddisfacente utilizzazione dei posti. La classe unica, nelle FS da sempre su questo tipo di treni, sull'esempio di molte linee aeree, è una soluzione che comincia ad avere applicazione (AKN, 313) e che in avvenire si affermerà sempre di più.



Comunque anche in I cl. prevale la soluzione di 4 sedili per fila. In II si usano le soluzioni eufemisticamente chiamate "ad alta densità" con 5 posti per fila (3+2) e 5 viaggi/m<sup>2</sup> negli spazi liberi. (\*) Per questo tipo di servizi sulla rete delle FS è comunemente offerta oggi la disposizione con 4 sedili per fila con classe unica.

Nella tabella 2.3 è riportato, per i rotabili esaminati, il numero di posti a sedere, in piedi, totali ed il numero di strapuntini. La Z 6400 arriva a 773 viaggiatori in 4 vetture di 23 metri così ripartite: seduti 72 in prima (2+2) e 292 in seconda (3+2); in piedi 409 (+ eventualmente 35 in bagagliaio). Quando sono pochi i viaggiatori in piedi, entrano in funzione ben 88 strapuntini, portando così a 452 il numero di viaggiatori comunque seduti. Per alcuni tipi di servizi prevale quindi il concetto che piuttosto di stare in piedi è meglio viaggiare scomodamente seduti.

Il numero di 773 viaggiatori su 4 carrozze è ottenibile perché non ci sono toilette (viaggi brevi), né scalini di salita che tolgono spazio ai vestiboli.

L'unità svizzera RABDe 8/16 che pure ha 4 vetture di 25 metri porta solo 278 posti a sedere e 243 posti in piedi, essa però ha tutti i posti in prima e seconda cl. del tipo 2+2, ha 4 ritirate, ed ha in corrispondenza di ognuna delle 16 porte 3 gradini che sottraggono ai viaggiatori molta parte della superficie del vestibolo. La 472 su tre soli pezzi porta 196 viaggiatori seduti e 500 in piedi: anch'essa non ha toilette, né scalini ai vestiboli; leggermente differente l'inglese 313 che su tre pezzi porta 232 viaggiatori seduti e 368 in piedi; la 4030 ha 218 posti a sedere 353 in piedi; la 08 ha

(\*) (Serie 06 e 08 della SNCF, Z6400 e Z5300 della SNCF, 313 delle BR).



TAB. 2.3. Numero di posti

	I° TIPO					II° TIPO										III TIPO			
	SBB <sub>12</sub>	DB	DB	BR	SBB	OBB	SNCF	SNCF	SNCF	SNCF	FS	FS (**) G.A.I.	FS	DB	DB	DB	SNCB	SNCB	
	RABD 12	420	472	313	RABD 16	4030	76400	75300	4900	4900	Le 801	Aln 668	627	628	627	628	06	08	
Composizione	M+R+M	M+M+M	M+M+M	M+R+M	M+R+R+M	M+R+R	M+R+R+M+R+R+R	M+R+R+M	M+R+M	M+R+M	M+R+R+M+R+R+M	M	M	M+M	M	M+M	M+M	R+M+M+	
Posti a sedere	200	194	196	232	278	218	364	383	154	154	390	336	68	136	64	136	178	358	
Posti in piedi	(*)	381	500	368	243	353	409	(*)	(*)	(*)	(*)	464	(*)	(*)	(*)	(*)	76	140	
Posti totali	(*)	575	696	600	521	571	773	(*)	(*)	(*)	(*)	800	(*)	(*)	(*)	(*)	254	498	
Strapuntini	(*)	-	-	(*)	-	-	88	80	-	-	-	(*)	-	(*)	(*)	(*)	-	-	

(\*) dato non disponibile

(\*\*) nella versione con 2 porte per fiancata



56 posti in prima (con passo di 2 metri), 302 in seconda (3+2 con passo di 1,700 metri) e solo 140 in piedi (si tratta di un treno utilizzato anche per percorsi a media distanza).

I treni (G.A.I.) FS nella versione 644, con tre portiere per fiancata hanno 280 posti a sedere e 576 in piedi; nella versione 804, con due portiere per fiancata, aumenta il numero di posti a sedere, 336, e diminuisce il numero di posti in piedi, 464.

I treni FS ALe 801 hanno 390 posti a sedere.

Sempre limitato il numero e l'ampiezza delle toilettes, non più di una per carrozza ed in certi casi nessuna per tutto il treno (Z 6400, 420, 72, 313 AKN). Questa estrema soluzione è applicabile soltanto quando il materiale è sempre adibito a servizi di ferrovie cittadine (Stadtbahnen) o suburbane (d'altra parte metropolitane e tram non hanno toilettes).

In questo caso sarebbe opportuno che le stazioni fossero fornite di servizi adeguati ed efficienti.

I bagagliai sono quasi sempre presenti, sia pure con piccole superfici; al massimo si va a  $11 \text{ m}^2$ . In molti paesi servono soprattutto al trasporto di biciclette e carrozzelle per invalidi; altrimenti sono una riserva di posti in piedi per i momenti di grande affollamento.

Per il trasporto bagagli veri e propri sono invece utilizzati in proporzione molto ridotta.



## 2.5. Porte di accesso, scalini, vestiboli, intercomunicanti

Il rapido afflusso o deflusso di viaggiatori dal marciapiede alla vettura, nelle ore di punta ha, agli effetti della velocità commerciale, più importanza della potenza dell'impianto di trazione.

Per guadagnare, in una tappa di 3 Km, 20 secondi per una maggior sosta in stazione, si dovrebbe incrementare quasi del 50% la potenza di punta dei motori ed aumentare del 30% il consumo di energia.

Si comprende quindi come il numero, la posizione e le dimensioni delle porte siano stati oggetto di approfondite indagini per definirne la utilizzazione ottimale.

Oltre alla larghezza delle porte ha influenza, sulla velocità di scambio dei viaggiatori, la presenza di mancorrenti centrali che dividono il flusso, l'ampiezza del vestibolo immediatamente dopo la porta, il numero e l'altezza dei gradini. Dove lo consente la esistenza di marciapiedi elevati in tutte le stazioni interessate, gli scalini vengono aboliti con un guadagno del 20% nel tempo di salita (che da 1,1 sec/viaggiatore si riduce a 0,9 sec) e con molta disponibilità di spazio per viaggiatori in piedi nei vestiboli.

E' il caso delle 420, 472 e Z6400.

In Italia, come è noto, marciapiedi sopraelevati non esistono, ed a questo riguardo ci troviamo in condizioni più sfavorevoli di qualsiasi altro paese.

In molti veicoli si è già tenuto conto di sistemazioni che ancora non esistono, ma che già sono programmate; per es. le AKN ridurranno il numero degli scalini da 3 a 2 (coprendo con una pedana il gradino più basso), quando tutti i marciapiedi verranno unificati all'altezza di 760 mm.



Come tipo di porte d'accesso sono scomparse le porte ad unico battente, e sono rare le applicazioni di porte a libro.

Prevalgono invece le porte scorrevoli, con una spiccata tendenza, nonostante il costo molto elevato, verso le porte articolate e scorrevoli (Schwenkschiebetüren in tedesco e portes louvoyantes coulissantes in francese).

Queste porte quando sono chiuse sono a filo perfetto con la fiancata, con un buon effetto estetico e con agevolazione della pulizia mediante impianti meccanizzati, mentre l'apertura si compie in due tempi: prima la porta si sposta all'esterno e poi scorre addossandosi al fianco. Sono così risparmiati i vani riportati, nei quali si ricoverano le comuni porte scorrevoli, con notevole guadagno di spazio e di peso.

Il comando delle porte è pneumatico ed è sempre parzialmente o totalmente centralizzato. L'apertura viene di solito comandata dal viaggiatore, ma è possibile soltanto se il conducente ha dato il consenso e, in alcuni casi, se il convoglio ha una velocità molto bassa (meno di 5-10 Km/h).

Il consenso all'apertura viene data dal guidatore per il lato o i lati da cui si deve svolgere il servizio viaggiatori. In certi casi la scelta è automatica ed è ottenuta a mezzo di un dispositivo a terra (balise) piazzato vicino al binario, poco prima della zona di arresto.



La chiusura è comandata dal personale di scorta poco prima della partenza e per evitare di stringere fra i battenti un viaggiatore in alcuni casi si fa uso di blocchi elettrici sugli scalini (la porta non si chiude se il gradino è occupato), oppure del bordo sensibile; a volte sono impiegati entrambi i dispositivi. In alcuni casi la chiusura delle porte è preceduta da un segnale acustico di avvertimento (ronzatore) della durata di qualche secondo. La luce libera delle porte è da 1200 ai 1300 mm; quasi sempre c'è un montante tubolare in mezzo, talvolta non simmetrico (AKN) per rendere possibile il passaggio di carrozzelle per invalidi. Il numero delle porte è prevalentemente di 2 o 3 per fiancata. Ne hanno 4 solo le 420 e 472 della DB, che del resto effettuano un servizio di tipo suburbano.

Fra le carrozze di una stessa unità gli intercomunicanti sono molto ampi. Alle estremità delle unità, di solito non si ha intercomunicazione, e si preferisce fare più comoda e razionale la cabina di guida. In qualche caso c'è un passaggio di emergenza solo per il personale. Eccezionalmente c'è un passaggio anche per i viaggiatori, la cui utilità, che si limita alle possibilità di equilibrare l'affollamento attraverso spostamento da un'unità all'altra, è d'altronde molto controversa; è chiaro infatti che se una buona ripartizione non si produce mentre i viaggiatori salgono, è assai difficile ottenerla in seguito con spostamenti forzatamente lenti attraverso passaggi occupati da passeggeri in piedi.



Alcune Amministrazioni ritengono necessario l'intercomunicante per ridurre l'impiego di personale di scorta.

Si osserva che per l'accessibilità, per la scelta del numero delle porte, per le dimensioni dei vestiboli, ecc., può essere data una soluzione ottimale solo per servizi aventi caratteristiche ben definite e costanti (metropolitane, treni per particolari esigenze di traffico, ecc.).

Per treni destinati a svolgere più servizi con diverse caratteristiche si ritiene che il miglior compromesso sia l'adozione di due porte per fiancata, di grande luce (1300 mm) che immettono a tre scompartimenti.

Nella tab. 2.4 sono stati calcolati alcuni indici che possiamo denominare di "accessibilità alle vetture":

Il rapporto (luce porte / lunghezza totale) presenta i valori più alti nei treni specializzati per servizi di banlieue: i tedeschi 420 e 472, che hanno valori del suddetto rapporto rispettivamente di 0,18 e 0,22; a questi valori si avvicina molto il francese Z6400 con rapporto pari a 0,17.

Tutti gli altri rotabili elettrici presentano valori pressoché identici e compresi tra 0,09 e 0,11. In particolare il treno G.A.I. nella versione 804, con due porte per fiancata, presenta un valore di 0,10, mentre nella versione 644, con 3 porte per fiancata, specializzata per servizi di tipo metropolitano, presenta un valore di 0,15. I rotabili diesel presentano valori più bassi, pari a 0,06-0,07, con eccezione del ALn 668 per il quale il rapporto vale 0,09.



Tabella 2.4 - Indici di accessibilità alle vetture

	1° TIPO					2° TIPO								
	SBB 12 RABD 12	DB 420	DB 472	DR 313	SBB 8 RABD 8	DB 4030	SNCF * 75400	SNCF* Z5300	SNCF 4900	FS Ale 801	FS** G.A.I. ALn 668	FS 627	DB 623	
Lunghezza totale mm	73700	67400	65820	65833	100000	70060	92430	102800	63230	107450	101600	23540	22500	44350
Luce porte	0.09	0.18	0.22	0.15	0.11	0.10	0.17	0.14	0.06	0.08	0.10	0.09	0.07	0.07
lunghezza totale														
m2 vestiboli	0.32	0.45	0.44	0.22	0.27	0.30	0.33	0.42	0.11	0.19	0.23	0.15	0.20	0.14
m2 vano sedili+corrid.														
m2 vano sedili+corrid.	13.1	9.7	10.0	22.3	25.4	20.6	15.1	15.6	24.3	23.9	21.8	20.9	18.3	20.5
numero porte														
altezza pavimento sul p.d.f.(mm)	1025	1030	1120	1156	1060	1150	1190	950	1065	1355	1150	1228	1220	1220
numero gradini	2	-	-	-	3	2	-	1	2	2	varie	2	3	3
numero porte	3	4	4	2	2	2	3	3	2	2	soluz. 2	2	2	2

\* disposizione 3+2 in II classe

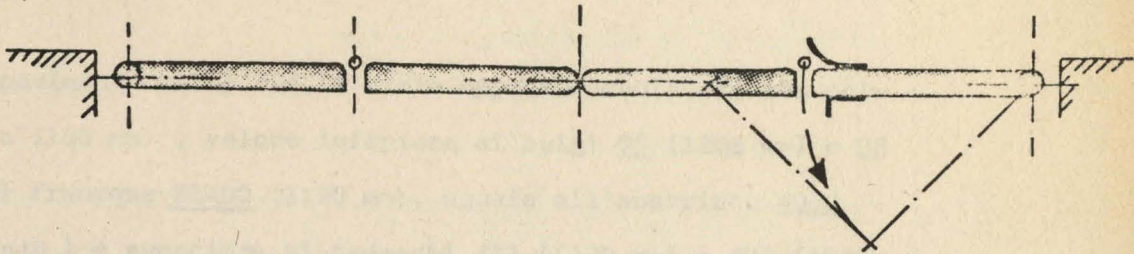
\*\* nella versione con 2 porte per fiancata.



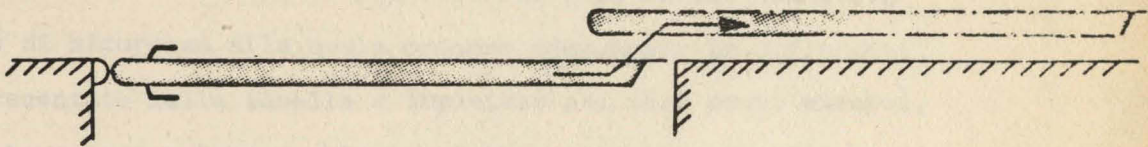
- il rapporto (superficie vestiboli)/(superficie vani sedili+corridoi), che è un parametro indice della rapidità di de-flusso dei viaggiatori da e verso le superfici loro destinate (sedili+corridoi), presenta i valori più alti sempre per i rotabili tedeschi specializzati per servizi di S.-Bahn: il 470 ha un valore di 0,45 ed il 472 di 0,44; molto alto (0,42) è anche il valore del suddetto rapporto per il francese Z5300. Questo valore è stato tuttavia notevolmente ridotto, da 0,42 a 0,33, dai francesi nel più moderno modello Z6400.  
I treni FS presentano valori molto più bassi, pari a 0,19 per ALe 801, ed a 0,23 per ALe 804, simili al valore del belga 08 (0,21) e dell'inglese 313 (0,22). E' interessante notare che il GAI nella versione ALe 644, per servizi metropolitani, presenta un valore elevatissimo di 0,50.
- il rapporto (superficie vani sedili+corridoio)/(numero di porte) dà una graduatoria, tra i rotabili esaminati, inversa a quella del precedente rapporto: quanto minore è la superficie utilizzata per i vestiboli, tanto più elevato è il numero di sedili serviti da una porta. I treni FS ALe 801 e 804 presentano i valori più alti di circa  $24 \text{ m}^2$  per porta; tale valore per l'ALe 644 (GAI nella versione per servizi metropolitani) scende a  $11,4 \text{ m}^2$ . Nell'inglese 313 la superficie di sedili e corridoi servita da una porta è di circa  $22 \text{ m}^2$ , nel belga 08 di circa  $18 \text{ m}^2$ , mentre nei treni metropolitani tedeschi questa superficie è di  $9,7 \text{ m}^2$  per il 470 e di  $10 \text{ m}^2$  per il 472.
- L'altezza del pavimento sul piano del ferro varia del minimo di 950 mm del francese Z5300 al massimo di 1355 mm dell'italiano ALe 801.  
Va notato che l'altezza dell'801 è davvero eccessiva, tanto più che le stazioni non hanno marciapiedi rialzati.



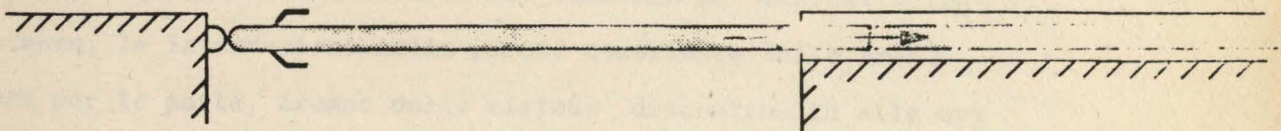
**porte pieghevoli semplici o doppie a prentisi verso l'interno (o verso l'esterno), dotate di bloccaggio meccanico e maniglia di sblocco**



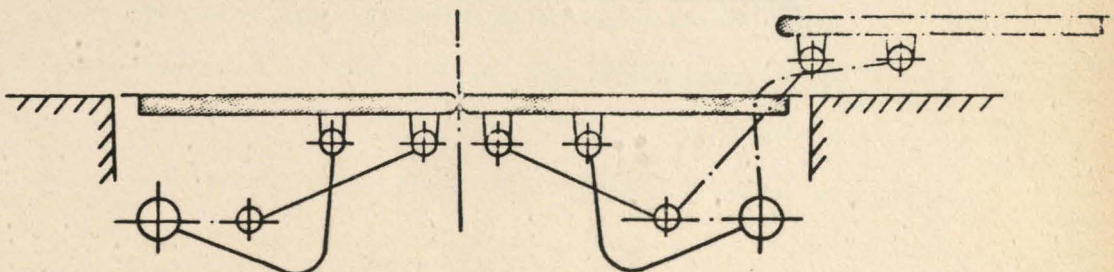
**porte articolate scorrevoli (semplici o doppie) con bloccaggio elettropneumatico e meccanico, e maniglia di sblocco**



**porte scorrevoli (semplici o doppie) con bloccaggio elettropneumatico e meccanico, e maniglia di sblocco**



**porte articolate girevoli con bloccaggio elettropneumatico e meccanico, e maniglia di sblocco**









L'altezza del pavimento sul p.d.f. è stata opportunamente ridotta nell'AlE 644/804 a 1150 mm , valore inferiore ai belgi 06 (1255 mm) e 08 (1265 mm) ed al francese Z6400 (1190 mm), uguale all'austriaco 4030 (1150 mm appunto ) e superiore ai tedeschi 472 (1120 mm) e 470 (1030 mm) ed allo svizzero RABDe 8/16 (1060 mm).

In fig.2.1 sono riportati gli schemi di alcuni tipi di porte automatiche.

In tab.2.5 sono descritte alcune procedure e dispositivi di comando per l'apertura e la chiusura delle porte. A questo proposito è opportuno ricordare che ogni Ente o Amministrazione ferroviaria ha una normativa di esercizio e di sicurezza alla quale occorre adeguarsi: le differenti alternative presentate nella tabella e impiegate nei vari paesi europei, debbono pertanto essere valutate solo in quanto non interferiscono o non si contrappongono alle normative in uso.

#### Struttura metallica, criteri costruttivi e materiale impiegato

La struttura di una carrozza per servizio locale è costruttivamente molto più difficile di quella di una carrozza per servizi a lunga distanza; le interruzioni nelle pareti costituite dalle grandi aperture per le porte, creano delle vistose discontinuità alle quali si deve rimediare con l'applicazione di speciali intelaiature e con rinforzi di grandi dimensioni.

La messa a punto di nuovi metodi di progettazione, resi possibili dall'uso del calcolatore elettronico, ed il perfezionamento tecnologico, hanno cionondimeno consentito realizzazioni molto soddisfacenti.



Il guidatore comanda l'apertura delle porte della fiancata destra e/o sinistra.

Le porte si aprono automaticamente.

Le porte restano aperte.

Il guidatore comanda la chiusura di tutte le porte.

Le porte si chiudono automaticamente e si bloccano.

Il guidatore dà il consenso a tutte le porte della fiancata destra e/o sinistra.

Sblocco e apertura manuale da parte del viaggiatore per mezzo della maniglia.

Finché non viene dato il comando di chiusura una porta può essere aperta e chiusa manualmente.

Il guidatore comanda la chiusura di tutte le porte della fiancata destra e sinistra.

Le porte si chiudono automaticamente e si bloccano.

Il guidatore dà il consenso a tutte le porte della fiancata destra e/o sinistra.

Sblocco da parte del viaggiatore per mezzo della maniglia.

Apertura automatica della porta, che rimane aperta.

Il guidatore comanda la chiusura di tutte le porte della fiancata destra e sinistra.

Le porte si chiudono automaticamente e si bloccano.

Il guidatore dà il consenso a tutte le porte della fiancata destra e/o sinistra.

Sblocco da parte del viaggiatore per mezzo della maniglia.

La porta si apre automaticamente.

Finché non viene dato il comando di chiusura, la porta può essere chiusa manualmente e riaperta automaticamente agendo sulla maniglia.

Il guidatore comanda la chiusura di tutte le porte della fiancata destra e sinistra.

Le porte si chiudono automaticamente e si bloccano.



Segue tab. 2.5.

Il guidatore dà il consenso a tutte le porte della fiancata destra e/o sinistra.

Finché non viene dato il comando di chiusura, le porte possono essere aperte automaticamente per mezzo di pulsanti posti all'interno e all'esterno sulla fiancata.

Il guidatore comanda la chiusura di tutte le porte della fiancata destra e sinistra.

Le porte si chiudono automaticamente e si bloccano.

Finché non viene dato il comando di chiusura, le porte possono essere chiuse dall'interno per mezzo di un pulsante.

Allorché la velocità del veicolo scende al di sotto di 5 Km/h un rivelatore dà il consenso alle porte.

Agendo sulla maniglia si ottiene l'apertura automatica della porta. 4 sec. dopo l'apertura, la porta può essere chiusa e aperta manualmente.

Quando la velocità è superiore a 5 Km/h si può, agendo sulla maniglia esterna, aprire manualmente una porta; questa si chiude automaticamente dopo 30 sec.

Il guidatore comanda la chiusura di tutte le porte della fiancata destra e sinistra.

Le porte si chiudono automaticamente e si bloccano.

Dopo 2 +3 sec. e finché la velocità resta inferiore a 5 Km/h, le porte possono essere aperte automaticamente agendo sulla maniglia.

La chiusura automatica avviene quando la velocità supera i 5 km/h.



Segnali di avviso	<p>"<u>Porte chiuse</u>" spia accesa in cabina di guida (interruttore di fine corsa sul meccanismo delle porte)</p>
	<p>"<u>Porte chiuse</u>": spia accesa in cabina di guida (interruttore azionato dal meccanismo di bloccaggio)</p>
	<p>9 sec. prima dell'inizio della chiusura, un segnale sonoro avverte il viaggiatore. Questo segnale persiste fino a completa chiusura delle porte.</p>
	<p>"<u>Porte chiuse</u>": una spia accesa sulla fiancata di ogni vettura si spinge 2+3 sec. dopo la chiusura e il blocco di tutte le porte della vettura.</p>
Bordo sensibile	<p>La porta si riapre automaticamente sul 98% della sua corsa di chiusura se c'è pressione sul suo bordo sensibile. Dopo l'apertura completa, si richiude automaticamente.</p>
	<p>La porta si riapre automaticamente sul 98% della sua corsa di chiusura se c'è pressione sul suo bordo sensibile. Dopo l'apertura completa e con velocità del treno superiore ai 5 Km/h la porta si richiude automaticamente dopo circa 7 sec.</p>



Segue tab. 2.5

Per mezzo di un pulsante agente su una elettrovalvola.

Dopo lo sblocco, apertura manuale della porta.

Agendo sulla maniglia di un distributore pneumatico.

Dopo lo sblocco, la porta si apre automaticamente se è presente l'aria altrimenti può essere aperta manualmente.

Il dispositivo deve essere rimesso sulla sua posizione iniziale affinché la porta si richiuda o risponda al comando di chiusura.

Ruotando la maniglia di soccorso si elimina il blocco pneumatico della porta che può allora essere aperta manualmente per mezzo della maniglia di apertura.

Un segnale sonoro persiste finché la maniglia di soccorso non viene riportata nella sua posizione iniziale.



Il carico longitudinale viene limitato a 150 t (eccezionalmente 130 t per la RABDe 8/16) invece di 200 come richiesto per le carrozze comuni. La frequenza propria deve essere superiore a 9 Hz, la freccia deve essere minore del 0,1% dell'interperno.

I valori praticamente ottenuti risultano generalmente migliori di quelli richiesti.

Nella costruzione dell'ossatura si sta rapidamente affermando l'impiego della lega leggera per la quale a fronte di un minor peso sta ancora oggi il costo più elevato, i maggiori oneri di manutenzione (difficile riparazione) e la scarsa esperienza al tempo (resistenza a fatica). L'impiego della lega leggera appare giustificato per risolvere problemi particolari: allungamento delle casse delle motrici mantenendo bassi pesi assiali.

Sono in lega leggera le 420 (in una prima serie del 1971 si era cominciato a fare in lega leggera la sola carrozza intermedia, poi con la seconda serie si è esteso il procedimento anche alle vetture di estremità), le 472, che -esempio rimasto finora unico -hanno fatto largo impiego dei profili creati per le 420, i treni 644/804 ed infine la RABDe 8/16.

Nel diagramma di fig. 2.2 è riportata, per i diversi rotabili, la potenza massica in funzione della massa per unità di lunghezza.

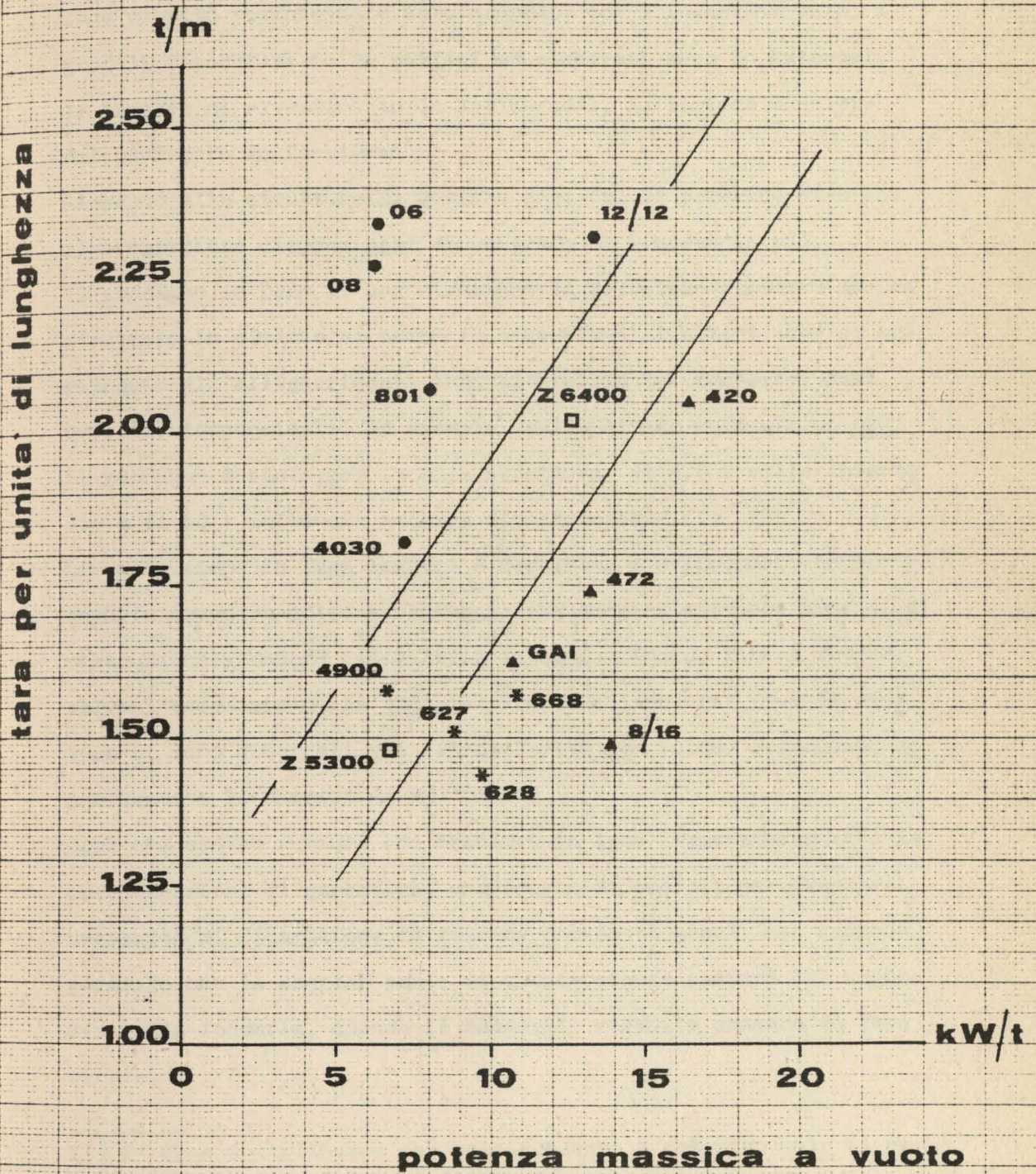
In questo diagramma sono individuabili quattro zone: la zona dei rotabili elettrici in acciaio, dei rotabili elettrici in acciaio inox, dei rotabili elettrici in lega leggera, dei rotabili diesel.

Come si può vedere i rotabili in lega leggera tendono ad occupare la parte in basso a destra del diagramma, ovvero: con la lega leggera, a potenze massiche più elevate corrispondono masse per metro di lunghezza più basse.

Un caso a parte è rappresentato dai materiali diesel che presentano potenze massiche dello stesso ordine dei materiali elettrici in acciaio e masse per metro di lunghezza dello stesso ordine dei materiali elettrici in lega leggera.



**FIG. 2.2**



- acciaio
- acciaio inox
- ▲ lega leggera
- \* rotabili diesel







Normalmente secondo la funzione cui il materiale è destinato si fa ricorso ai tipi di lega più idonei a determinati impieghi.

I grandi profili portanti sono ormai sempre in Unidur (Al Zn Mg), lega di alta resistenza e autoindurente con l'invecchiamento, i profili decorativi molto sottili ed elaborati sono in Extrudal, le lamiere di rivestimento in Anticorodal, la lamiera ondulata del pavimento in Peraluman.

Rispetto alle strutture di qualche anno fa, si potrebbe dire che il progettista dispone oggi di un grado di libertà in più.

Il guadagno in peso di una struttura in alluminio rispetto ad una struttura in acciaio al carbonio è di circa il 50%(\*), cui si aggiungono gli alleggerimenti indotti (telaio del carrello, assi, boccole, sospensioni). Ad esempio, sulle citate automotrici 420, il guadagno è stato, per la sola struttura, di 4,6 t sulle intermedie e di 10 t sulle due vetture di estremità.

La costruzione in lega leggera è destinata a svilupparsi ancora e sarà in avvenire molto avvantaggiata quando esisteranno profili di costruzione standard disponibili in ogni momento. Finora invece, salvo l'eccezione della 472 già ricordata, per ogni tipo di ossatura si sono disegnati gli estrusi volta per volta, costruendo appositamente le matrici di estrusione.

Oggi chi ordina vetture con ossatura in lega leggera ha ancora la preoccupazione di garantirsi una scorta di profili per eventuali necessità di riparazione in caso di incidenti gravi, ben sapendo peraltro che la maggior parte di queste scorte passerà dal magazzino alla fonderia, quando il materiale rotabile cesserà di fare servizio.

---

(\*) E' bene sottolineare che tale guadagno è relativo solo al peso della struttura e non dell'intera vettura.



## 2.7. Comfort, abitabilità, arredamento

Premesso che è impossibile confrontare quantitativamente il comfort, perchè dovrebbe essere applicato un metodo uniforme di tipo sperimentale (metodo ORE), da un punto di vista qualitativo si può notare che le esigenze di comfort sono in tutti i casi tenute nella massima considerazione. La qualità di marcia è sempre molto curata.

Profili speciali delle ruote, qualità delle sospensioni, spinto isolamento termico ed acustico, disegno ergonomico dei sedili contribuiscono, insieme ad una decorazione interna ed esterna di sobria eleganza, a rendere più attraente il viaggio in ferrovia. In molti casi l'assortimento dei colori e la scelta dei materiali di arredamento sono suggeriti da esperti di particolare competenza.

### 2.7.1. Sospensioni

La sospensione è sempre a due stadi. La primaria, cioè quella fra carrello ed assi, è realizzata con molle di gomma e con eliche in acciaio. Per la secondaria, cioè quella fra carrello e cassa, è sempre più impiegata la sospensione pneumatica a livello costante, utilissima in veicoli con un rapporto molto alto fra carico utile e tara, particolarmente se in presenza di banchine rialzate almeno a livello del primo gradino.

Con la pressione di aria che si stabilisce nei cuscini a livello costante si regola in alcuni casi (26400, 313, 644/804) la forza frenante e l'accelerazione. Con ciò non si eliminano i dispositivi antislittamento ed antibloccaggio, ma se ne riducono molto le occasioni di intervento.



I cuscini ad aria compressa assicurano anche una certa reazione elastica in senso trasversale. Occorre però integrarli con molle orizzontali o con tamponi di gomma. Si usano anche grandi molle ad elica (Aln 668) con rigidità trasversali controllate, che lavorano in tutti i sensi con funzionamento analogo a quello dei carrelli standard Europei (Eurofima).

## 2.7.2. Sedili

La disposizione dei sedili è generalmente vis-à-vis, anche se con la disposizione ad "aereo", ovvero con tutti i sedili orientati in un senso (644/804, XBD 4900), lo spazio può essere meglio sfruttato.

L'adozione di poggiatesta è diffusa nei complessi utilizzati per servizi a medio raggio o promiscui (SNCB 06 e 08, RABDe 8/16 e 12/12, 801/940), mentre non è prevista per il materiale destinato a servizi suburbani. Si tratta tuttavia di un dettaglio che, almeno in Italia, appare gradito e vivamente richiesto da alcune categorie di utenza (pendolari con percorsi superiori a 60'). A questo proposito può essere interessante riportare alcuni risultati di un sondaggio di opinioni sulle vetture a due piani, eseguito dalle FS, nel febbraio 1977, in occasione dell'impiego sperimentale di queste vetture (francesi) su alcune linee del Compartimento di Milano, intensamente utilizzate da viaggiatori pendolari:

" in merito alla necessità che ci siano i braccioli per i sedili, i poggiatesta ed i ripiani portapacchi, dalle seguenti percentuali di risposte affermative si nota che l'esigenza è più sentita per i ripiani portapacchi, che la categoria 'operai ed impiegati' ha espresso in maggior misura la neces



sità di dotare le vetture di tali accessori e che tale necessità aumenta con l'aumentare della durata del viaggio:

braccioli: 59,6% (studenti: 47,3%; operai ed impiegati: 66,2%; saltuari: 49,1% - meno di 1/2 ora: 51,2%; da 1/2 ora a 1 ora: 59,9%, più di 1 ora: 68,4%);

poggiatesta: 41,9% (studenti: 32,8%; operai ed impiegati: 45,7%; saltuari: 39,1% - meno di 1/2 ora: 32,7%; da 1/2 ora a 1 ora: 40,2%; più di 1 ora: 57,8%);

ripianti portapacchi: 87,2% (studenti: 86,3%; operai ed impiegati: 88,9%; saltuari: 80,1% - meno di 1/2 ora: 76,9%; da 1/2 ora ad 1 ora: 89,9%; più di 1 ora: 92,4%).

- Il 72% degli intervistati preferirebbe sedili poco comodi ma sufficienti per tutti i viaggiatori (studenti: 82,4%, operai ed impiegati: 67,5%; saltuari: 76,4%).

Risulta, peraltro, che la maggiore importanza attribuita alla disponibilità di posti a sedere, rispetto alla comodità dei posti stessi, diminuisce con l'aumentare della durata del viaggio (meno di 1/2 ora: 80,9%; da 1/2 ora ad 1 ora: 72,5%; più di 1 ora: 59,9%).

Non è da escludere che tale risultato sia influenzato dalla circostanza che i viaggi di più lunga durata sono effettuati probabilmente dai pendolari che iniziano il viaggio nelle prime stazioni del percorso e che pertanto trovano più facilmente posti disponibili sul treno. Per tali viaggiatori avrebbe infatti maggiore importanza la comodità del posto."



### 2.7.3. Materiali

Riguardo ai materiali impiegati va detto che, anche se in generale ci si preoccupa di impiegare materiale che abbia buone proprietà di resistenza, per la conservazione nel tempo bisogna fare affidamento sul comportamento del pubblico.

### 2.7.4. Ventilazione e riscaldamento

Il problema del riscaldamento è particolarmente complesso in veicoli che sono soggetti a variazioni continue della densità di occupazione. D'altra parte dati i periodi di permanenza relativamente brevi, gran parte dei viaggiatori mantiene durante il viaggio l'abbigliamento pesante che aveva all'esterno e preferisce una temperatura ambiente piuttosto fresca.

Ne consegue che la potenza riscaldante è di solito relativamente modesta, mentre grande importanza viene data alla ventilazione che in certi casi supera i 40 ricambi all'ora.

La AKN ad esempio riscalda soltanto col calore prodotto dalla frenatura reostatica.

Nelle RABDe 8/16 per il solo riscaldamento circolano  $1500 \text{ m}^3/\text{h}$  di aria per carrozza, che sopra i  $13^\circ \text{ C}$  aumentano a 4000 per portarsi a  $6500 \text{ m}^3/\text{h}$  quando la temperatura interna arriva a  $20^\circ \text{ C}$ . In nessun caso viene praticato il raffreddamento estivo dell'aria, che, a parte la grande potenza richiesta, avrebbe un funzionamento precario, data la frequente apertura di molte porte e la continua ed irregolare introduzione di aria esterna calda e non deumidificata.

### 2.7.5. Rumorosità

Deve essere almeno rispettata l'apposita fiche UIC. L'isolamento



termoacustico delle pareti e del tetto è generalmente assicurato da apposite vernici e pannelli. Gli intercomunicanti vanno protetti da una doppia porta.

#### 2.7.6. Illuminazione

Vengono di solito impiegate lampade fluorescenti, da 30-40 W. E' auspicabile, per quanto possibile, il comando singolo.

#### 2.7.7. Ritirate

L'accesso alla ritirata deve essere ubicato fuori del compartimento viaggiatori.

Va tenuta nel massimo conto la facilità di pulizia, e per questo occorre studiare la posizione e la linea degli accessori (WC, lavabi, ecc.) in modo da evitare ogni ricettacolo.

### 2.8. Prestazioni in trazione e frenatura

#### 2.8.1. Velocità massima, accelerazione iniziale e accelerazione residua

Nel caso di materiali impiegati per servizi locali, e quindi destinati a frequenti avviamenti ed arresti, la scelta del rapporto di trasmissione fra i motori di trazione e le ruote può essere fatta a seconda delle esigenze di esercizio o (1) minimizzando il tempo di percorrenza su una determinata distanza (tratta tipo in piano e rettilineo) o (2) ricercando la massima accelerazione all'avviamento (in alcuni casi può essere più utile liberare una



sezione di segnalamento a scapito del tempo di percorrenza) o (3) per risolvere alcune esigenze particolari (tratto con forte pendenza od altro).

Il rapporto ingranaggi viene quindi calcolato, avendo presente la potenza dei motori di trazione e le caratteristiche degli azionamenti, seguendo un processo di ottimizzazione che ottenga lo scopo richiesto entro i limiti del carico termico ammesso per i motori o per quegli altri organi che eventualmente intervenissero a limitare la potenza della motrice.

Fra le condizioni sopra richiamate la (1) è quella generalmente richiesta per i treni del 2° tipo (vedi § 2.1) essendo la condizione più importante per un esercizio di tipo ferroviario.

Una volta definito il rapporto ingranaggi è in conseguenza definita la velocità massima del rotabile che, nella maggiore parte dei casi, è quella che corrisponde al numero di giri limite consentito agli indotti dei motori di trazione.

Nei servizi suburbani, con distanze medie tra le fermate comprese tra i 2500 ed i 4500 m, si raggiungono velocità massime tra i 90 ed i 120 Km/h. La soluzione prevalente nei casi esaminati si trova a 100 o 120 Km/h; fanno eccezione con 88 Km/h la AKN (che ha fermate a distanze di un Km ed anche meno) e con 140 Km/h le 4900, la 06 e la 08, i treni FS (tutto materiale adibito a servizi di media distanza.)

Nel caso delle 472, la scelta del rapporto di trasmissione è stata preceduta da una indagine dalla quale è risultato che, rapportando l'automotrice per 120 Km/h, i percorsi a velocità maggiore di 100 Km/h sarebbero stati appena il 10% del totale.

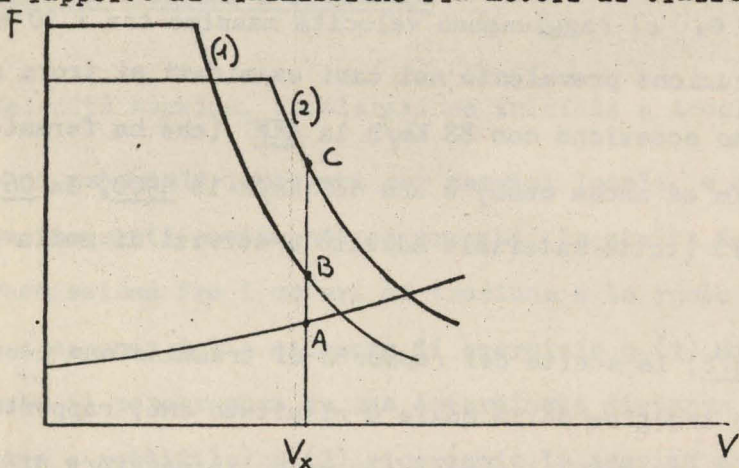


Si è così mantenuto (come per la precedente elettromotrice 470) il rapporto per 100 Km/h, col quale viene conseguita in avviamento una accelerazione di  $1,15 \text{ m/sec}^2$ , insieme ad un comportamento molto brillante sul tratto a pendenza 40 ‰ esistente ad una estremità della linea cittadina.

I fattori determinanti delle prestazioni (velocità media), nei servizi a breve raggio, sono però, oltre la velocità massima, anche l'accelerazione all'avviamento e l'accelerazione residua disponibile alle alte velocità.

Per una data potenza installata su un veicolo, variando il rapporto di trasmissione si può aumentare l'accelerazione residua, ad una prefissata velocità, a scapito dell'accelerazione di avviamento o viceversa (\*).

(\*) L'alternativa può essere chiarita con l'ausilio del diagramma sforzo-velocità (sul quale è riportata anche la curva delle resistenze al moto) di due locomotive a corrente continua del tutto identiche tranne che nel rapporto di trasmissione fra motori di trazione ed assi motori.



Nelle due locomotive la coppia max del motore in avviamento è identica, e pertanto nella locomotiva (1), con rapporto di trasmissione più ridotto, lo sforzo di trazione all'avviamento è più elevato di quello della



---

(segue nota)

locomotiva (2), mentre è più basso il valore della velocità alla quale la tensione di alimentazione del motore raggiunge il valore max ammissibile. Oltre questa velocità, mantenendosi costante la tensione di alimentazione ed il numero di spire di eccitazione, la corrente, e perciò la potenza, varia in ragione inversa della velocità. La coppia, risultante dal rapporto tra la potenza e la velocità, varia quindi in ragione inversa del quadrato della velocità.

Ne consegue che la locomotiva (1), la quale in avviamento ha lo sforzo di trazione più elevato, viene ad avere, nella marcia a tensione costante, sforzi di trazione più deboli di quelli della locomotiva (2).

Questo ragionamento si può ripetere per ogni valore di indebolimento di campo. E poichè la velocità max si raggiunge di solito con l'ultimo grado di indebolimento di campo ne consegue ancora che la locomotiva (1), la quale ha la maggior accelerazione in avviamento, ha la minor accelerazione residua alla massima velocità.

Come si può notare dalla figura, alla velocità  $V_x$ , la locomotiva (2), che ha una accelerazione di avviamento inferiore, dispone ancora di una forza accelerante (AC) superiore a quella della locomotiva (1) (AB).

Naturalmente, la locomotiva (2) è termicamente più sollecitata dalla locomotiva (1) perchè a tutte le velocità, oltre quella di fine avviamento, assorbe una corrente più elevata.







Pertanto nella scelta del rapporto ingranaggi si deve decidere quale delle due accelerazioni, residua alle alte velocità o di avviamento, premiare rispetto all'altra. La scelta naturalmente influenza la velocità massima, nel senso che quanto più si tende a premiare l'accelerazione residua tanto più elevata risulta la velocità massima o, viceversa, quanto più si premia l'accelerazione in avviamento tanto più bassa risulta la velocità massima (\*).

Nel decidere quale delle due soluzioni adottare si deve tener conto che:

- una buona accelerazione all'avviamento è necessaria perchè, nei servizi ferroviari locali, con distanze tra le fermate dell'ordine dei 2-4 Km, essa determina, insieme alla decelerazione in frenatura, la velocità commerciale
- una buona accelerazione residua alle altre velocità è necessaria perchè possono essere frequenti i casi di perturbazioni dovuti al distanziamento dei treni e, in tali casi, è indispensabile disporre di una buona "ripresa", come si dice in gergo automobilistico, dopo un rallentamento.

La soluzione naturalmente va studiata di caso in caso.

In linea generale si può dire che buone doti di accelerazione in avviamento vengono sfruttate al massimo quando i servizi effettuati su una linea, con frequenti fermate, sono omogenei ed omotachici; le metropolitane, quindi, costituiscono il caso più esemplare di servizio ferroviario che abbisogna ed utilizza appieno elevate accelerazioni iniziali.

---

(\*) non deve quindi meravigliare che treni specializzati per servizi vicinali possano essere caratterizzati da una velocità massima elevata, anche al punto che, a causa della ridotta lunghezza delle tratte tra due stazioni contigue, nella pratica tale velocità non verrà mai raggiunta: la elevata velocità è infatti la conseguenza della necessità di disporre di una buona accelerazione residua.



Buone doti di accelerazione residua alle alte velocità sono invece particolarmente necessarie sulle linee ad elevata intensità di circolazione, dove i servizi effettuati sono promiscui e non omotachici, dove cioè coesistono servizio viaggiatori, di lunga percorrenza e locale, e servizio merci.

Per i tipi di materiale rotabile esaminati sono riportati, nel diagramma di fig. 2.3, i valori delle accelerazioni di avviamento e di quelle residue a 100 e 120 Km/h.

Poichè il diagramma è su scala logaritmica le diagonali (a 45 gradi) danno la percentuale dell'accelerazione residua rispetto alla accelerazione di avviamento. Inoltre il segmento che congiunge la accelerazione residua a 100 Km/h con quella a 120 Km/h misura il rapporto tra queste due accelerazioni: quanto più questo segmento è corto tanto migliore è la "ripresa" alle alte velocità.

I treni tipo 420 della DB, e SBB 12/12, da questo punto di vista, hanno prestazioni molto elevate, in corrispondenza di elevati valori della potenza.

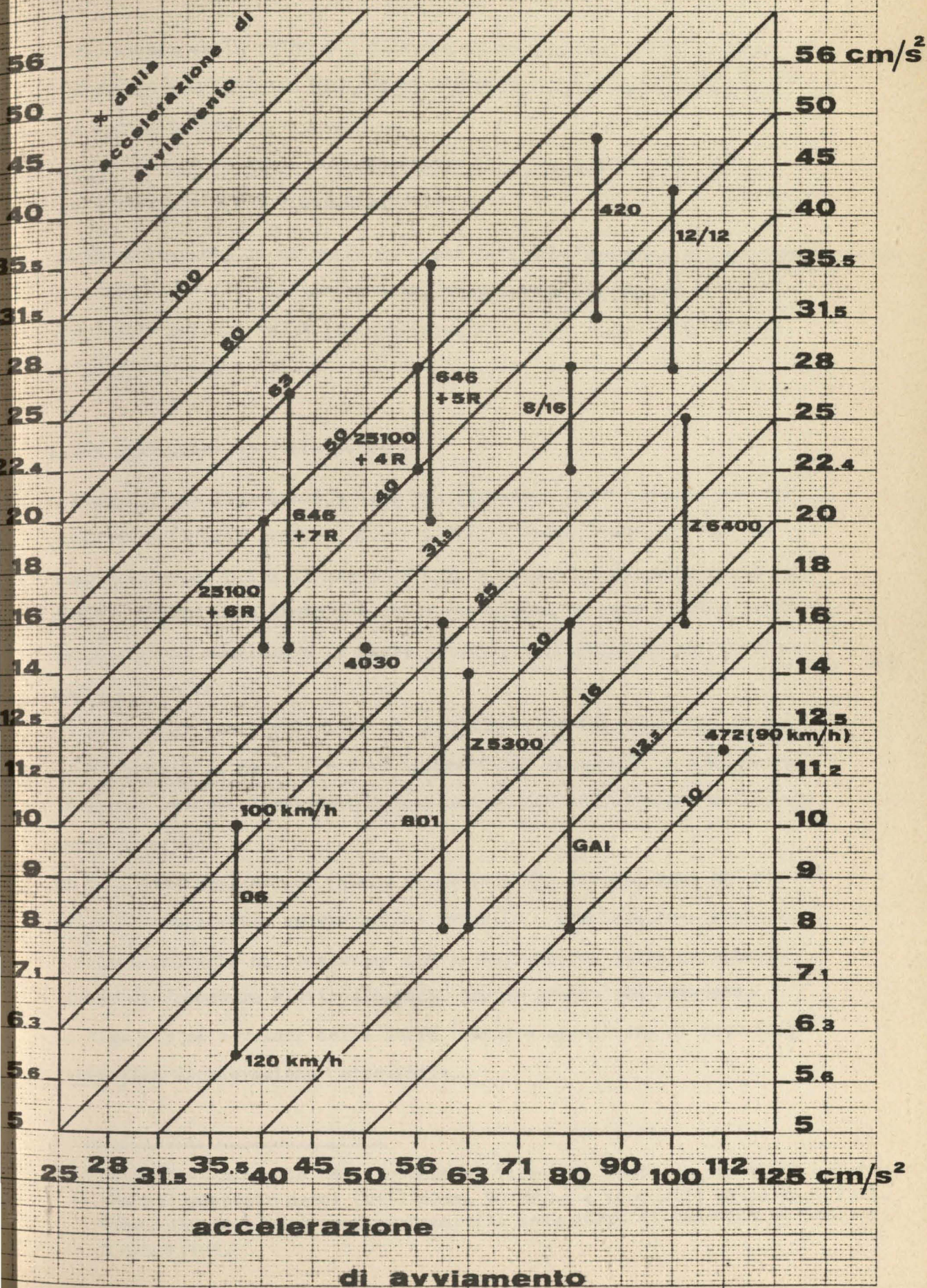
Più contenute ma sempre brillanti le prestazioni dei treni SBB 8/16 e SNCF Z6400, entrambi ad alimentazione monofase.

I treni a corrente continua 801 e GAI delle F.S. e Z5300 della SNCF sono un poco al disotto come valori assoluti, ma in sostanza come valori percentuali, almeno a 100 Km/h, si trovano sulla stessa linea di progettazione per quanto riguarda questa utilizzazione della potenza. Nel diagramma sono anche riportate le situazioni nel campo di treni rimorchiati da locomotive; precisamente si sono aggiunti:

- treni francesi con carrozze a due piani tipo AB con locomotive



# FIG. 2.3









bicorrente serie 25100 (\*) funzionante in monofase e con il rapporto avente velocità massima di 130 Km/h, nelle composizioni con 4 e 6 rimorchiate;

- treni FS con carrozze suburbane tipo nB e locomotiva 646 nelle composizioni 5 e 7 rimorchiate.

Si può notare che da un punto di vista dell'accelerazione residua questi treni si collocano nella fascia più alta, come era da aspettarsi in relazione alla potenza delle locomotive, molto grande rispetto al numero di carrozze rimorchiate.

## 2.8.2 Utilizzazione della potenza

I diagrammi di figura 2.4 e 2.4. bis (separati in due gruppi per ragioni di chiarezza grafica) danno i valori della forza di trazione disponibile per unità di massa (N/Kg), a pieno carico, alle varie velocità, valori che, diminuiti della resistenza al moto e della parte necessaria ad accelerare le masse rotanti, corrispondono all'accelerazione ottenibile.

Pertanto, alle basse velocità, in considerazione del basso valore della resistenza al moto, i valori, indicati nei diagrammi in N/Kg, possono essere assunti direttamente come valori di accelerazione all'avviamento in  $\text{m/sec.}^2$

Da tali diagrammi si può vedere anche come nei diversi casi sia risolto il compromesso accelerazione iniziale - accelerazione residua.

Problemi analoghi si presentano per la definizione delle caratteristiche di frenatura elettrodinamica, quando questa sia presente.

La fig. 2.5 dà i valori della forza frenante specifica, di poco inferiori alla decelerazione ottenibile.

---

(\*) Si sono considerate tali locomotive invece di quelle serie 17000 monofasi che nel rapporto merci (vel. mass. 90 Km/h) e in quello passeggeri (vel. mass. 150 Km/h) non sono paragonabili come campo di velocità ai treni con autotrici.



La sola indicazione della potenza nominale non permette un confronto completo fra diversi treni; sfuggono infatti caratteristiche come i fattori di sovraccarico e di elasticità del motore (rapporto tra la velocità massima e la velocità minima a cui è disponibile la potenza continuativa). Per tale motivo si è preferito calcolare per ciascun rotabile l'area dei diagrammi di fig. 2.4, 2.4. bis e 2.5: il valore di dette aree può essere considerato un indice significativo e comparabile di utilizzazione della potenza.

Nel diagramma di fig. 2.6 sono indicati i rapporti tra le aree specifiche suddette (riferite cioè alla massa a pieno carico) in trazione e le potenze nominali specifiche.

Questo rapporto è anch'esso un indice dell'utilizzazione della potenza dell'apparato motore.

Si nota una sostanziale uniformità di progettazione per tutti i rotabili esaminati; i valori del fattore di utilizzazione della potenza oscillano fra il minimo di 2 ed il massimo di 2,7; i valori di punta sono ottenuti nei treni italiani (801 e GAI), francesi (6400, 5300), svizzeri ( $12/_{12}$ ,  $8/_{16}$ ) e nel belga 06.

Nel diagramma di fig. 2.7 sono indicati i rapporti suddetti relativi alla frenatura. I rotabili che presentano valore nullo del fattore non impiegano la frenatura elettrica; il tedesco 472 e l'italiano GAI sono i rotabili che meglio utilizzano la potenza in frenatura. I valori delle aree dei diagrammi di fig. 4, 4 bis e 5 sono riportati nella tab. 2.6, dove sono indicate anche le caratteristiche dei rotabili esaminati, rilevanti ai fini della determinazione delle prestazioni.



FIG.2.4

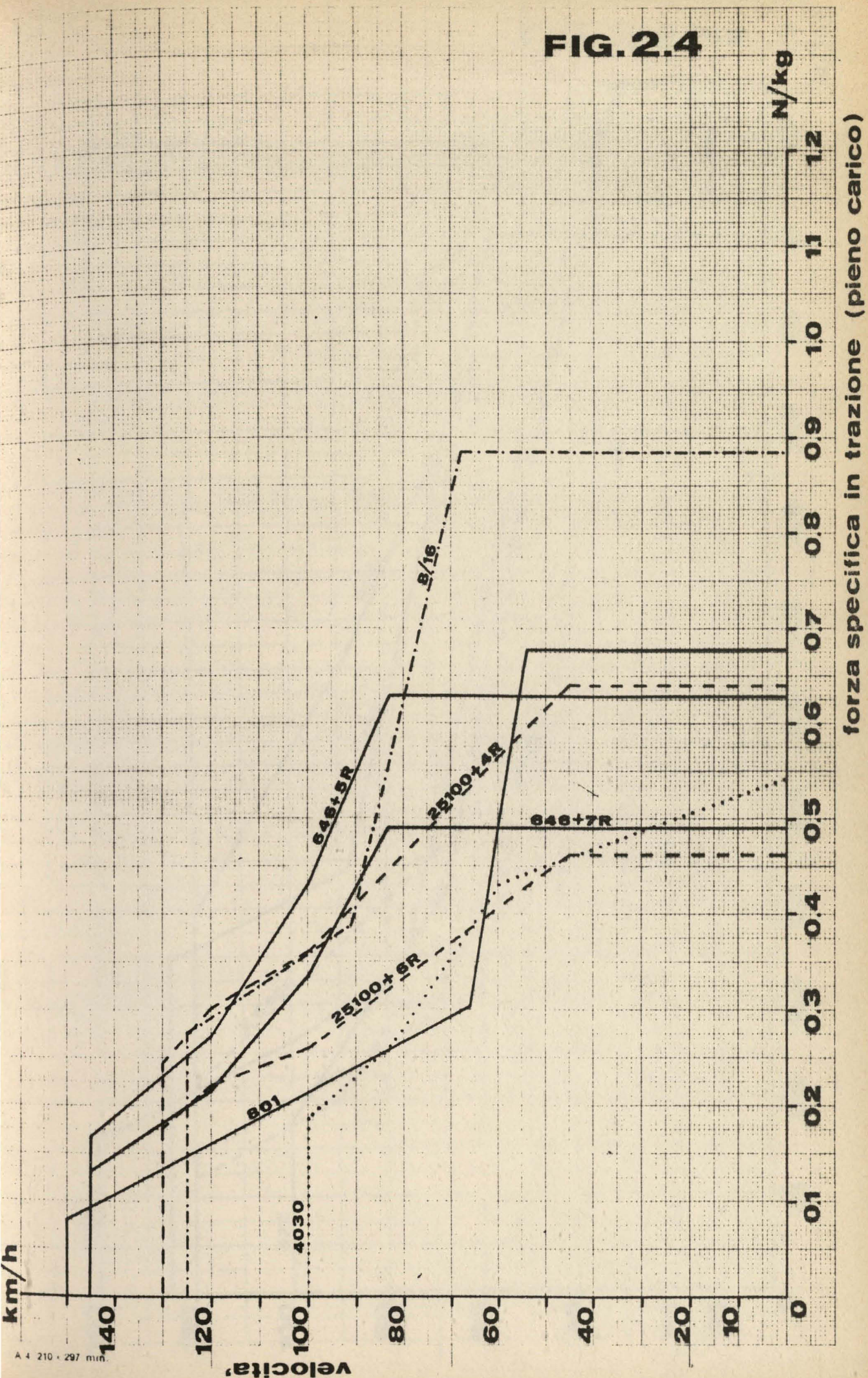




FIG. 2.4 bis

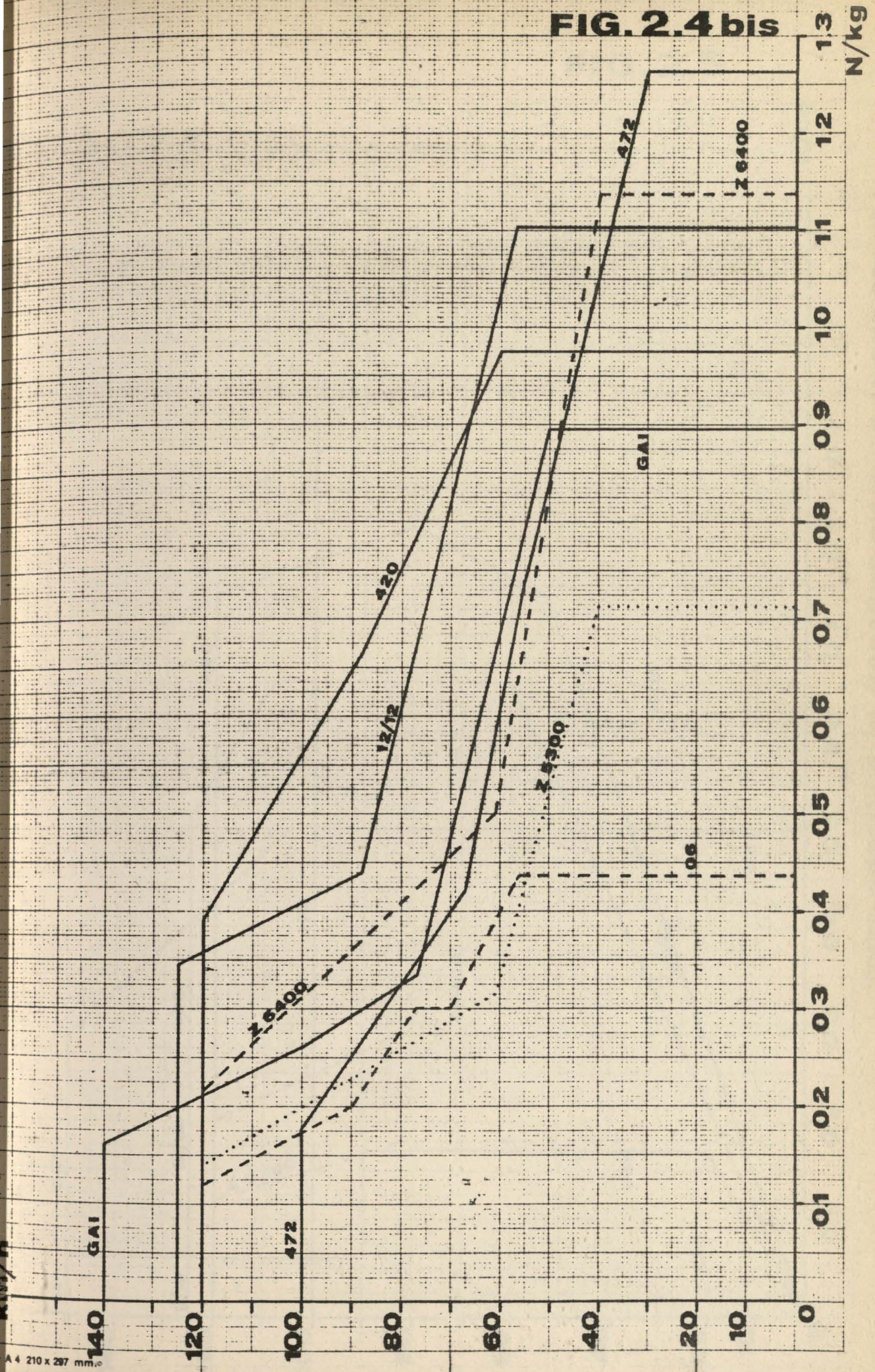
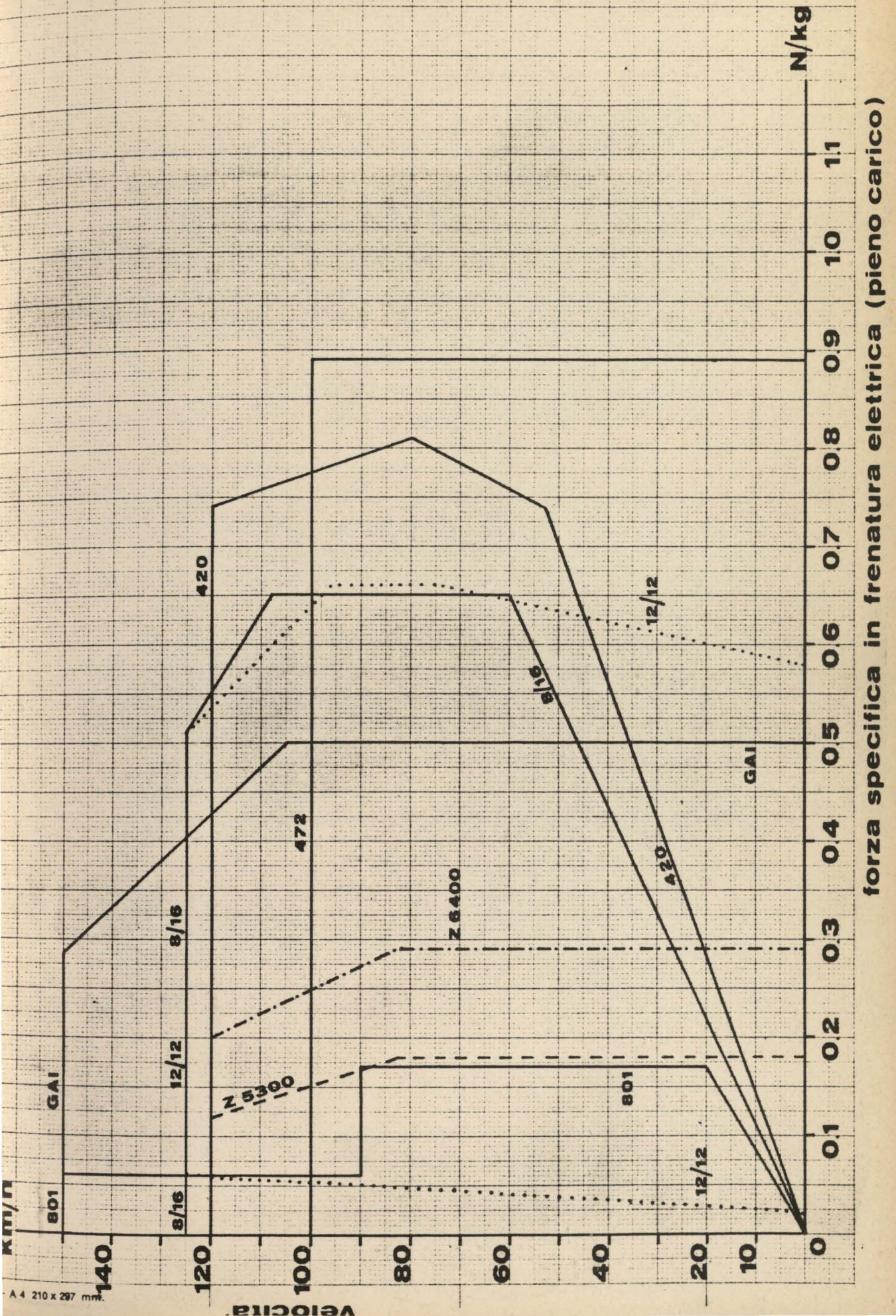




FIG. 2.5





TAB. 2.6 CARATTERISTICHE DEI ROTABILI ESAMINATI, RILEVANTI AI FINI DELLE PRESTAZIONI

Nazionalità	AUSTRIA	BELGIO	BELGIO	FRANCIA	FRANCIA	FRANCIA		GERMANIA	GERMANIA	ITALIA	ITALIA	ITALIA		SVIZZERA	
Sistema	15 KV, ~	3KV=	3KV=	25 KV, ~	1,5KV=	25KV, ~		16KV, ~	1,2 KV	3KV=	3KV=	3KV=		15KV, ~	
Tipo	4030.2	06	08	Z6400	Z5300	25100 + Be		ET 420	ET 472	801/940	804/6AI	646 nB		RABD 12/12	RABD 8/16
Composizione	MRR	MM	RMMR	MRRM	MRRR	L+ 4R	L+ 6R	MMM	MMM	MRRM	MRRM	L +5R	L +7R	MMM	MRRM
Rodiggio (M o L)	Bo' Bo'	A1 1A	Bo' Bo'	Bo' Bo'	Bo' Bo'	B' B'	B' B'	Bo' Bo'	Bo' Bo'	Bo' Bo'	Bo' Bo'	Bo' Bo'	Bo' Bo'	Bo' Bo'	Bo' Bo'
Massa aderente (t)	vuoto	61	54	120	125	62		138	114	140	106			170	99
	massima	74	68	150	169	85	74	181	166	176	135	110	110	217	125
Massa Totale (t)	vuoto	127	107	220	187	122	245	138	114	218	164	301	377	170	149
	massima	167	135	275	276	220	325	181	166	290	223	376	484	217	212
Passegg. convenzionali massimi (75 Kg/pass.)	533	374	733	1187	1307	1067	1600	575	696	960	787	1000	1427	627	840
Potenza continuativa per pass. (max) (KW)	1,68	1,82	1,85	1,99	0,90	2,75	1,84	4,17	2,15	1,81	2,24	3,5	2,45	3,62	2,47
Potenza continuativa per massa a pieno ca- rrello (KW/t)	5,39	5,04	4,95	8,6	5,36	9,03	6,56	13,26	9,04	6	7,89	9,31	7,23	10,46	9,77
Area del dia- gramma forza/ vel. riferito alla massa	Traz.	11,3	11,1	23,2	14,5	17,2	12,5	27,8	22,6	15,6	20,5	18,6	14,4	27,2	24,4
	Fren.	-	-	n.d.	10,3	6,4	-	21,2	27,1	6,6	20,5	-	-	23,0	17,6



fattore di utilizzazione  
della potenza in trazione

FIG. 2.6

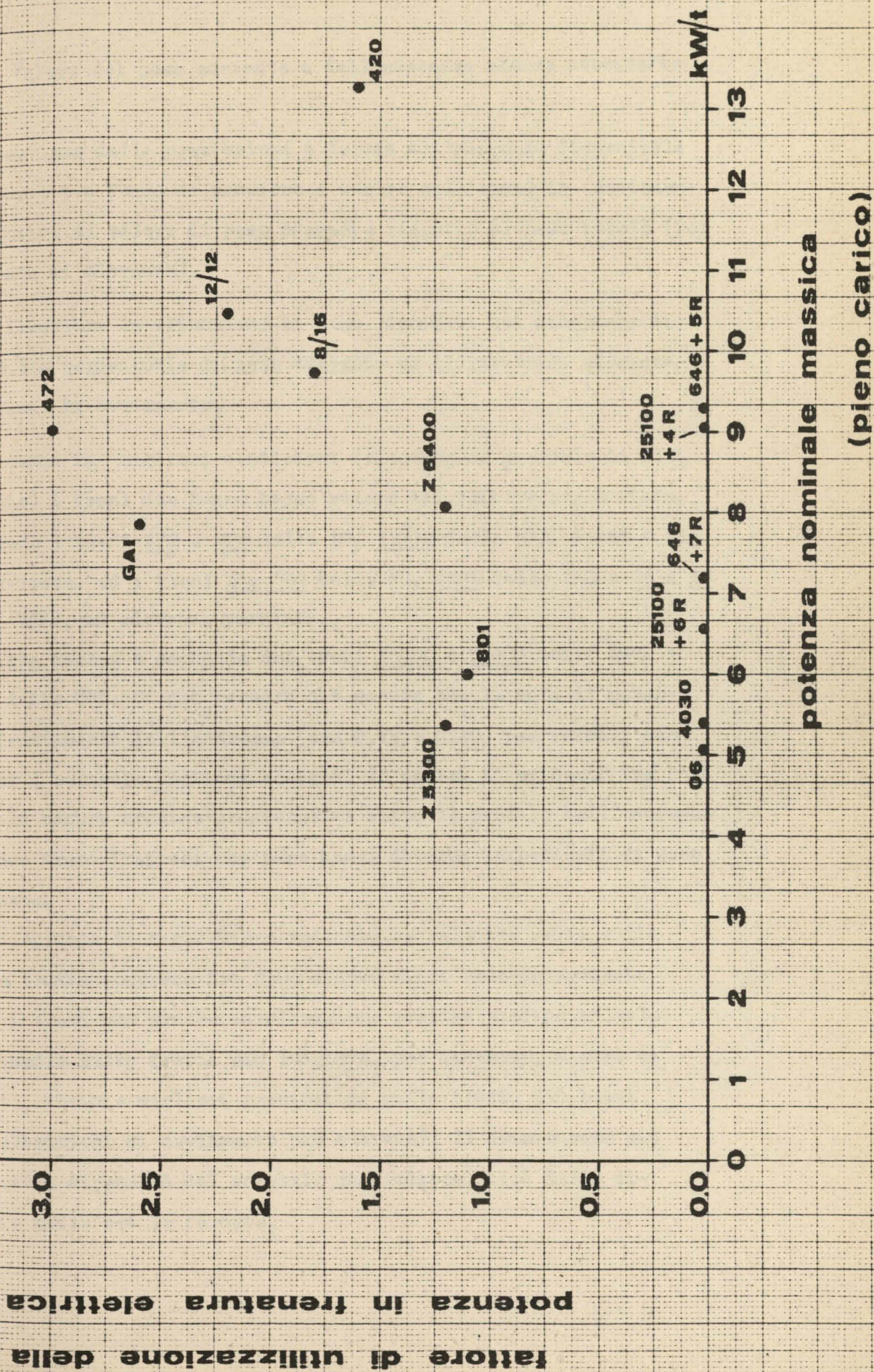
kW/t

potenza nominale massica  
(pieno carico)

(=) rapporto tra l'area del diagramma F-v in trazione e la potenza nominale  
massica a pieno carico



FIG. 2.7





### 2.8.3 Valori del peso aderente e dell'aderenza minima necessaria

La questione delle prestazioni è legata all'aderenza disponibile (rapporto tra forza di trazione e carico sull'asse) in avviamento, quindi ai valori di peso aderente rispetto al peso totale (percentuale di aderenza).

Per illustrare la situazione si sono riportati sul diagramma di fig. 2.8 la percentuale di peso aderente ed il fattore di aderenza richiesto in avviamento.

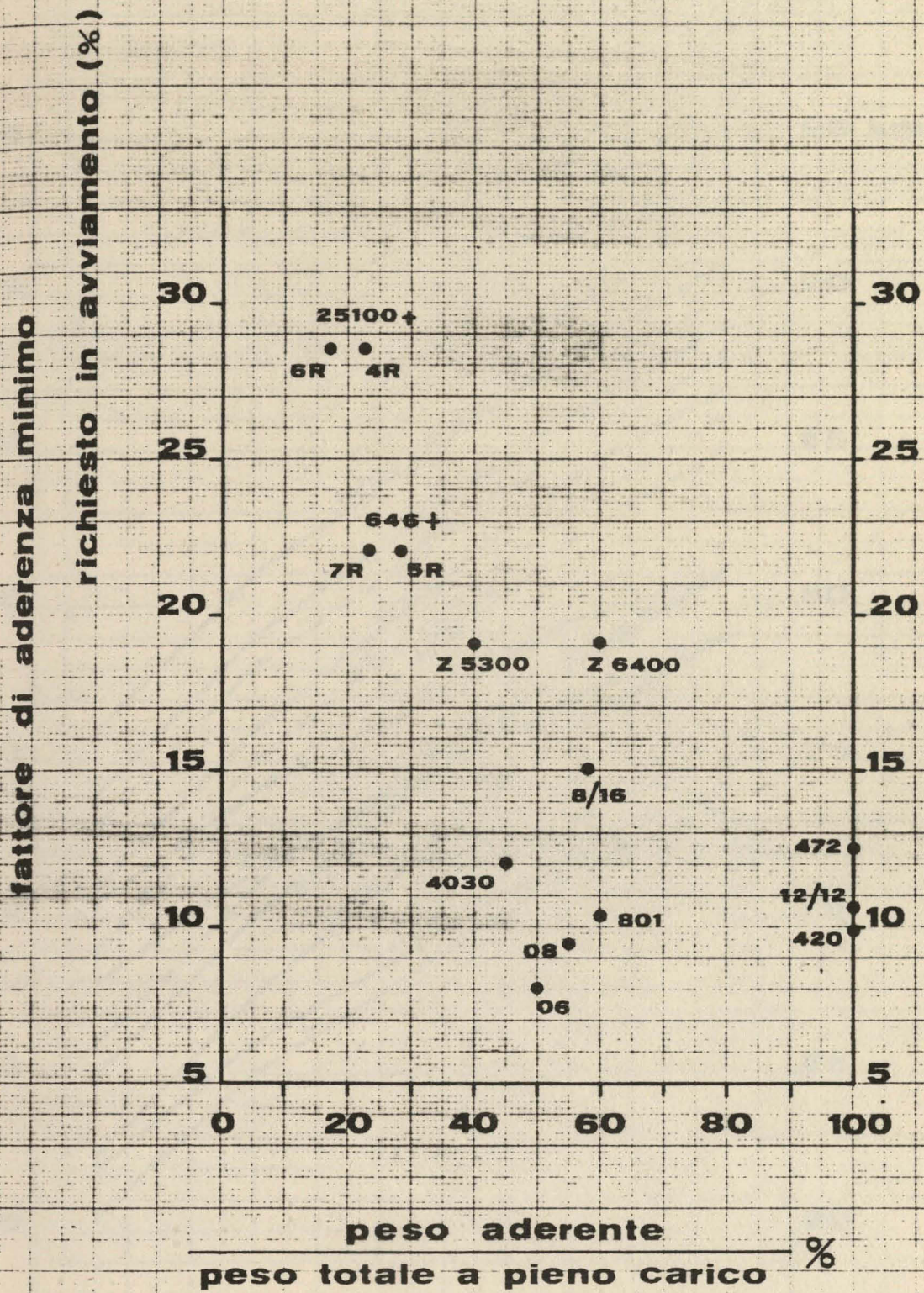
Si trovano in migliori condizioni (rispetto al pericolo di slittamento) i treni che hanno basso valore del fattore sopracitato, che sono i treni 472 e 420 della DB, 12/12 della SBB, tutti a piena aderenza, ed i treni Alc 801 delle FS, 4030 delle ÖBB e 06 e 08 delle SNCF, ad aderenza parziale.

Un'altra fascia è occupata dai treni Z5300 e Z6400 delle SNCF e 8/16 delle SBB. Si può pensare che questa sia la zona di massimo sfruttamento dell'aderenza (tra 0,15 e 0,20) per veicoli con motori a corrente continua eccitati in serie. E' evidente tra l'altro, la comune origine progettuale sotto il profilo dell'aderenza dei due treni francesi che pure hanno diverse percentuali di peso aderente.

Nel diagramma di fig. 2.9 sono indicate le velocità medie sulle varie tratte comprese fra 2500 e 4500 m. Si vede chiaramente come i treni con minore accelerazione residua scadano in velocità media sulle tratte più lunghe e, per converso, a pari velocità, abbiano migliori prestazioni sulle tratte più brevi (accelerazioni di avviamento più elevate). Il compromesso più opportuno dipenderà dal servizio da svolgere, cioè dalla distanza media tra le fermate.

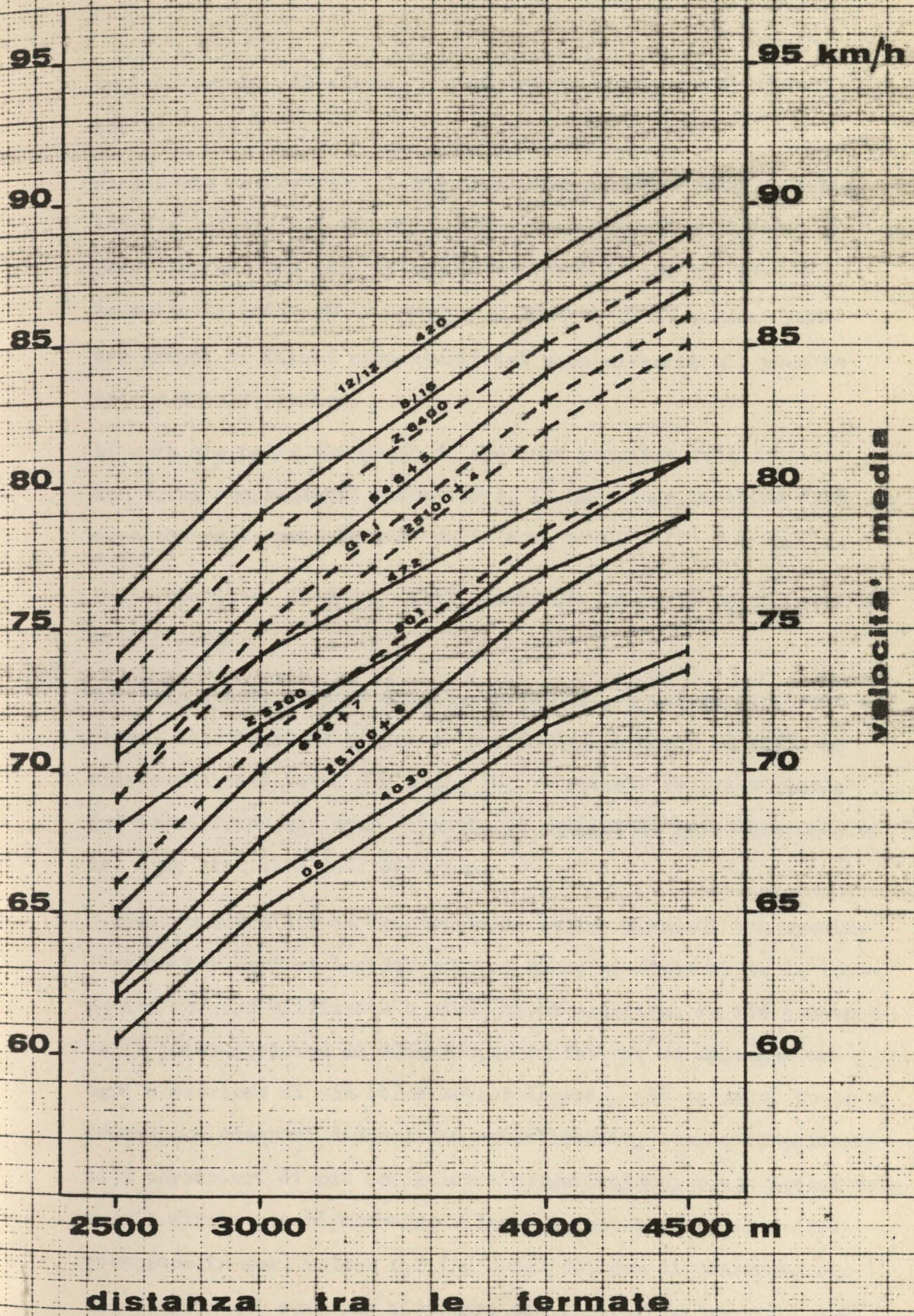


**FIG. 2.8**





# FIG. 2.9





Le prestazioni più elevate corrispondono alle potenze specifiche che maggiori.

Finalmente nel grafico di fig. 2.10 sono in certo modo sintetizzate le indicazioni dei diagrammi precedenti. E' riportata in fatti in funzione del fattore di aderenza minimo richiesto, la velocità media su una tratta di 2500 m, distinguendo quattro gruppi di valori percentuali del peso aderente sul peso totale a massimo carico.

Si nota che nelle due fasce di aderenza parziale realizzabili con treni comprendenti automotrici, il materiale rotabile francese occupa le posizioni di punta come prestazioni sui 2500 m; in particolare, lo Z5300 nella fascia 40-50% e lo Z6400 nella fascia 50-60%.

Tuttavia queste prestazioni sono ottenute per valori piuttosto elevati dell'aderenza minima in avviamento (intorno al 20%). Le prestazioni dei treni GAI e ALe 801, piuttosto vicine a quelle dei treni francesi, sono ottenute in condizioni molto più tranquille, come stabilità dell'aderenza.

I treni rimorchiati da locomotive di serie, e quindi non specializzate per servizi locali, offrono buone prestazioni se le locomotive vengono utilizzate a piena caratteristica. Ma ciò presuppone di poter disporre di almeno 0,28 di fattore di aderenza con ogni condizione di via (cioè meteorologica). Ciò si potrà forse ottenere con adeguati dispositivi antislittanti, con equipaggiamenti a thyristori di più sofisticata progettazione, o con motori asincroni; altrimenti si dovranno ridurre le prestazioni in modo da rientrare in quel valore 0,2 (1/5) del fattore di aderenza, che solo i francesi sembrano sfruttare con treni di automotrici e rimorchiate.



Considerazioni analoghe possono darsi per quanto concerne le condizioni di aderenza ove si volesse adottare la sola frenatura elettrodinamica sulle elettromotrici o locomotori.

## 2.9 L'apparato motore

Per le motrici elettriche e Diesel-elettriche il motore di trazione è sempre un motore a commutatore. Esso può essere del tipo a corrente continua vera e propria (AKN, 472, 06, 08, 644/804, ALe 801/940) oppure a corrente ondulata o del tipo monofase diretto per l'alimentazione a 15 KV 16 2/3 Hz.

I treni FS (ALe 801) e SNCF (Z5300) utilizzano circuiti tradizionali con contattori, reostato di avviamento e combinazione motori per la regolazione della velocità.

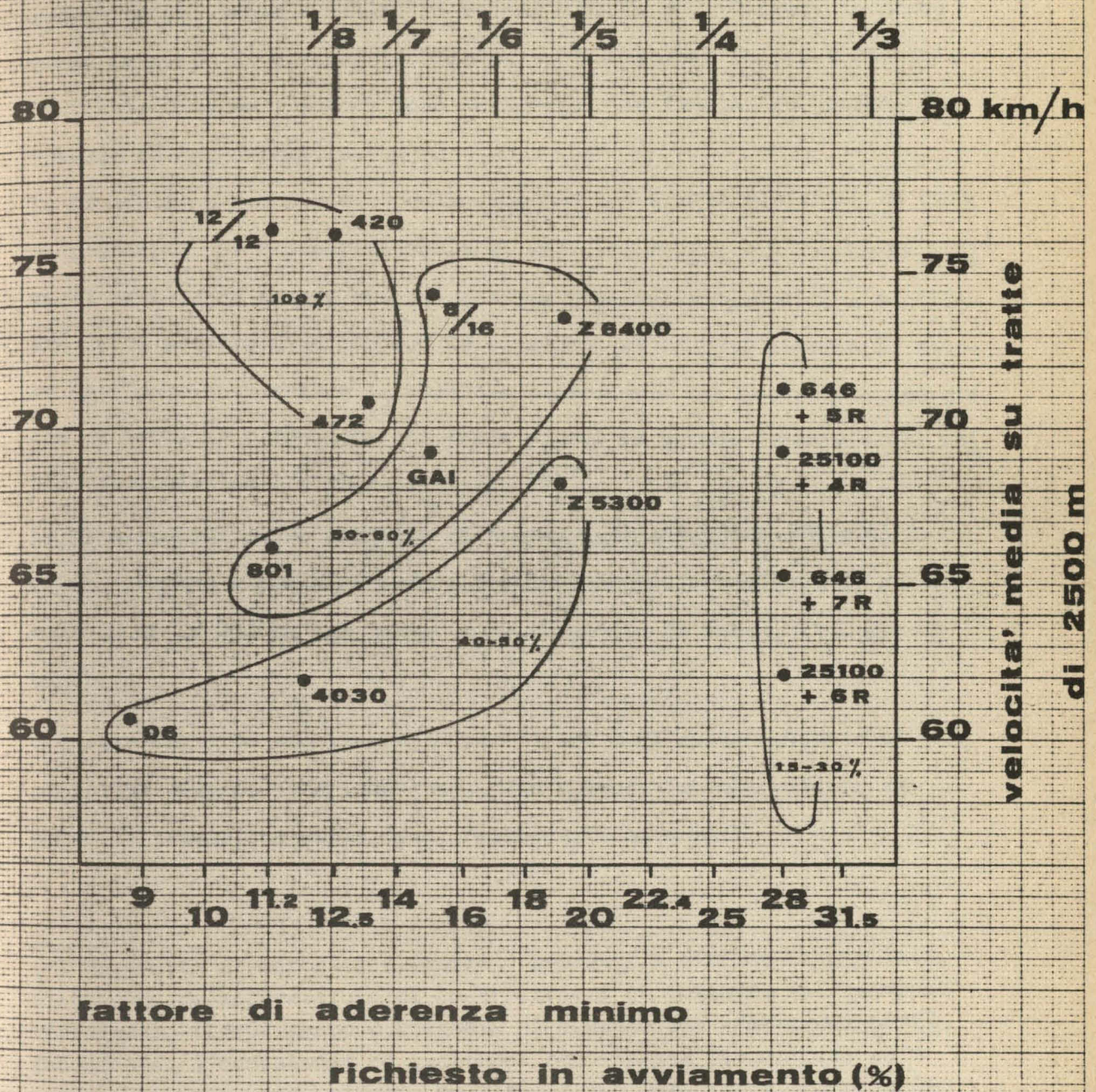
I treni SNCB e FS (GAI) impiegano invece la tecnica statica più moderna per la regolazione della velocità dei motori.

L'eccitazione dei motori è generalmente in serie con più gradi di shuntaggio, oppure con shuntaggio continuo; in alcuni casi si ricorre ad un'eccitazione compound con componenti di eccitazione indipendente fino al 50%.

Il motore a commutatore ha ormai raggiunto sia dal punto di vista progettuale che costruttivo i limiti delle sue possibilità di progresso. Per ottenere prestazioni più elevate e sostanziali riduzioni di peso per il motore di trazione (e quindi per il carrello, trasferendo il peso sulla cassa come maggior peso dell'apparecchiatura), si deve ora passare al motore asincrono alimentato a tensione e frequenza variabili, tecnologia che esce ora dalla fase sperimentale e che avrà le prime applicazioni pratiche di serie agli inizi degli anni '80.



**FIG. 2.10**





Nella trazione Diesel la scelta del motore termico è evidentemente importantissima, poiché è dal suo buon funzionamento che dipende la economicità e la affidabilità di tutta l'automotrice.

E' netta la preferenza verso motori ampiamente provati, anche se non modernissimi. La SNCF adotta il Saurer SDHL di 330 KW ormai in produzione da parte di diversi licenziatari (OM, Creusot) da quasi 25 anni. Centinaia di questi motori sono in servizio in Italia, in Spagna, in Francia ed in Portogallo.

Le FS adottano per i motori delle ALn 668 una scelta elastica, di grande praticità. Le successive serie di automotrici ALn 668 (10 negli ultimi 23 anni) sono sempre motorizzate con 2 motori orizzontali a 6 cilindri della potenza di circa 200 KW ciascuno, ed in ogni momento il motore applicato costituisce la versione ferroviaria del motore più recente, che si trova in produzione di serie presso la grande industria del settore camionistico e/o trattoristico. (\*)

La DB nella sua nuova politica di approvvigionamento automotrici ha voluto mettere a punto un motore esplicitamente ferroviario di potenza intorno ai 300 KW (si tratta esclusivamente di automotrici monomotori).

A questo scopo ha sperimentato per alcuni anni sulle automotrici prototipo diversi motori Mercedes, Man e Deutz (questi ultimi, secondo la tradizione della casa, raffreddati ad aria).

---

(\*) Si tratta di motori che, essendo prodotti a decine di migliaia, dispongono di attrezzature di costruzione e di collaudo estremamente efficienti, il cui costo è adeguato al grandissimo numero dei pezzi fabbricati. L'assistenza ed i ricambi sono sempre disponibili ed a condizioni molto convenienti. Ne risulta una importante economia di acquisto e di manutenzione ed un elevatissimo grado di affidabilità.

Le ALn 668 vantano una regolarità di servizio eccezionale, con una frequenza di inconvenienti gravi (chiamate di riserva o sospensione del treno) notevolmente inferiore ad un caso ogni 1.000.000 di Km percorsi.



La conclusione, come era da aspettarsi, è che tutti i motori hanno funzionato egualmente bene, ma che nessuno di essi ha alle spalle l'appoggio essenziale di una produzione di grandissima serie.

## 2.10 Rapporto numero assi motori/numero assi portanti

La soluzione di avere tutti gli assi motori è certamente la più favorevole per sviluppare la massima accelerazione alla partenza.

Però di fronte al notevole costo che questa versione comporta, la tendenza di oggi, anche per i treni di automotrici, è quella di concentrare la potenza su un minor numero di assi con conseguenti vantaggi economici sia nell'acquisto che nella manutenzione. Si tende cioè, nei rotabili moderni, al massimo sfruttamento dell'aderenza e della possibilità di aumento della potenza massica dei motori di trazione.

Sullo sfruttamento dell'aderenza, nel caso della trazione in c.c., ha influito in modo rivoluzionario l'impiego dei tiristori, che ha permesso di realizzare tipi di alimentatori statici (chopper) per i motori di trazione, che consentono una regolazione continua, senza scalini, dello sforzo di trazione, con un aumento valutabile in non meno del 20% nel coefficiente di aderenza rispetto alle soluzioni convenzionali.

Fra le soluzioni esaminate soltanto le elettromotrici tedesche in lega leggera 420 e 472 hanno tutti gli assi motori (per le 472 va tenuto presente che sulla linea percorsa ci sono tratti con pendenza fino al 40%) e le vecchie elettromotrici svizzere RABDe 12/12.

Anche il rapporto 2/3 è poco frequente. Lo riscontriamo nelle AKN unità a due corpi su tre carrelli, in cui sono motori i carrelli esterni (schema Bo' 2' Bo') e nelle 313 inglesi:

tre vetture con rimorchiata al centro e motrici all'esterno (schema Bo' Bo'+2' 2'+Bo' Bo').



Prevalente è il rapporto 1/2. Lo si trova sulle automotrici Diesel 627 e 628 (schema Bo' 2') e sulle automotrici FS ALn 668 (un asse motore ed un asse portante su ciascun carrello: 1A-A1), sulle Z6400, sulle FS ALe 801 e ALe 644 e 804 (2 motrici esterne, 2 rimorchi interni, schema Bq' Bo'+2'2' + 2'2'+ Bo' Bo'), sulle elettromotrici belghe doppie 06 (un asse motore ed un asse portante su ciascun carrello: A1-1A-A1-1A), sulle quaduple 08 (2 motrici all'interno 2 rimorchi all'esterno, schema 2'2'+Bo' Bo' +Bo' Bo' +2'2').

L'esempio più probante è quello delle unità svizzere RABDe 8/16 con due motrici esterne edue rimorchi interni, che costituiscono le più vecchie (1965) RABDe 12/12 formate da tre motrici; la costruzione in lega leggera del nuovo materiale e l'impiego di soluzioni più moderne nella regolazione dei motori fanno sì che le nuove unità MRRM hanno praticamente le stesse prestazioni delle precedenti MMM.

Non va dimenticato comunque che il rapporto peso aderente/peso totale è sempre più favorevole del rapporto fra il numero degli assi motori e totali, dato che l'asse motore pesa di solito più dell'asse portante; in certi casi la differenza, a pieno carico, arriva al 30%. Si scende anche al rapporto 1/3 sulle automotrici Diesel francesi XBD 4900 (un rimorchio interno e due motrici esterne, ciascuna con un carrello motore ed un carrello portante) e sulle austriache 4030 composte di motrice e due rimorchi (il secondo rimorchio con cabina di guida è detto rimorchio pilota, schema Bo'Bo'-2'2'-2'2'). Il rapporto 1/4 è stato usato per la soluzione, peraltro non molto recente, delle unità SNCF a corrente continua, Z5300 (motrice +3 rimorchi).



## 2.11 Impiego dell'elettronica di potenza (\*)

Nei sistemi di regolazione dell'energia che va ad alimentare i motori di trazione la più importante innovazione è l'impiego della elettronica di potenza.

Agli indubbi e notevoli vantaggi che essa offre si contrap=  
pongono ancora costi molto elevati e alcune perplessità ad  
adottare tecniche nuove che comportano problemi di riqualifica  
zione del personale addetto alla manutenzione.

E' facile però prevedere che entro alcuni anni, sia per la  
riduzione tecnologica dei costi, sia per una maggior confidenza  
da parte di chi deve utilizzarle, le apparecchiature elet=  
troniche finiranno per imporsi in misura praticamente esclusiva.  
Molte aziende per ora preferiscono accostarsi al problema  
con gradualità e con prudenza, decidendo l'applicazione di ap=  
parecchiature elettroniche ad una parte soltanto dei veicoli  
ordinati, in modo che, con modesto aggravio di spesa e con  
un limitato rischio di inconvenienti dovuti ad inesperienza, si  
possa cominciare a formare nel personale una "coscienza elet=  
tronica", che sarà poi utilissima quando queste nuove tecniche  
avranno raggiunto la diffusione che ci si attende.

E' opportuno sottolineare che in Italia le FS sembra adotteranno  
l'elettronica di potenza per tutti i rotabili di futura or=  
dinazione.

---

(\*) Vedasi appendice al § 2.11, per una breve descrizione dei  
principali componenti dell'elettronica di potenza.



Le difficoltà ed i risultati dell'impiego delle nuove tecnologie legate all'uso dei tiristori sono molto diversi per la corrente continua e per la monofase.

Mentre nel monofase a 16 2/3 Hz ancora si hanno esempi di alimentazione diretta dei motori a collettore (vedi la 4030 austriaca), nel monofase a frequenza industriale ormai da tempo l'unica soluzione adottata è il raddrizzamento con diodi al silicio e l'alimentazione dei motori con corrente ondulata (cioè una corrente con una prevalente componente continua ed una componente alternativa molto minore dovuta al raddrizzamento delle semionde a frequenza doppia della corrente primaria).

Il progresso più recente consiste nell'impiego dei diodi controllati (thyristors) che, oltre a raddrizzare, permettono di regolare in modo continuo da zero al massimo l'intensità media della corrente che va ai motori.

Con i thyristors si può usare un trasformatore con un solo rapporto, eliminando completamente i vari scalini di trasformazione ed il graduatore (circa 30 tacche) sull'alta o sulla bassa tensione. La regolazione è continua e l'aderenza ne è fortemente avvantaggiata. L'impianto è più semplice e non soggetto ad usura (col vecchio sistema, i contatti del commutatore richiedono invece una frequente manutenzione).

Nel campo della monofase, la regolazione elettronica (ponti a diodi controllati) è usata sulle 420, dove è completata con una eccitazione compound (anch'essa controllata elettronicamente) dei motori di trazione, col risultato complessivo di ottenere una caratteristica di trazione eccezionalmente elevata a tutte



le velocità. Anche la Z6400 ha un sistema di modulazione elettronico che permette tra l'altro di recuperare sulla linea di alimentazione monofase l'energia generata in frenatura dai motori di trazione.

Nella trazione in corrente continua l'introduzione della tecnica dei tiristori ha comportato da un lato maggiori difficoltà ma ha avuto un effetto assai più rivoluzionario di quello apportato nella trazione monofase.

Fra le diverse soluzioni possibili le uniche che sembra si siano affermate per l'alimentazione dei motori di trazione ferroviaria sono:

- (1) il chopper per l'alimentazione di motori di trazione in c.c.
- (2) l'inverter per l'alimentazione a tensione e frequenze variabili di motori di trazione asincroni.

Entrambi i sistemi hanno portato nel campo della corrente continua il fondamentale privilegio della corrente alternata di poter variare, mantenendone inalterato il prodotto, il valore di ciascuno dei due fattori della potenza elettrica: tensione e corrente.

Il risultato più importante della tiristorizzazione nella trazione a corrente continua è che si può eseguire l'avviamento senza dispersione di energia, non essendo più necessario creare cadute di tensione nel reostato.

Ciò porta ad una discreta economia di energia, e ad una regolazione dell'avviamento senza gli sbalzi corrispondenti al



la esclusione discontinua delle resistenze, causa di inizi di slittamento; ne risulta avvantaggiata l'aderenza (si può in conseguenza, ridurre il numero degli assi motori), e vengono eliminati i sovraccarichi sulla linea di contatto e sulle sottostazioni elettriche di alimentazione dovuti agli avviamenti di tipo tradizionale.

Per contropartita gli alimentatori statici sono ingombranti, pesanti, costosi e generano uno spettro di armoniche molto molesto. Sintetizzando, i pregi e i difetti degli alimentatori statici possono essere così richiamati:

pregi:

- eliminazione di gran parte degli organi elettromeccanici;
- souplesse nella regolazione della velocità e degli sforzi (possibilità di utilizzare in modo continuo il diagramma F-V);
- ridotta manutenzione;
- rapidità di interventi delle protezioni;
- compatibilità con gli automatismi;
- possibilità di effettuare sforzi di trazione più elevati all'avviamento grazie alla eliminazione delle discontinuità caratteristiche dell'esclusione reostatica e causa di inizi di slittamento;
- ridotto consumo di energia agli avviamenti;
- indipendenza della potenza del rotabile dal valore della tensione in catenaria (ottenibile solo con particolari progetti e non sempre vantaggioso);
- possibilità di impegnare coefficienti di aderenza più elevati;
- possibilità della frenatura a recupero.



### difetti

- aumento del peso dell'apparecchiatura;
- costo elevato;
- minor rendimento durante la marcia;
- necessità di mano d'opera molto specializzata per la manutenzione;
- generazione di armoniche di corrente circolanti nel binario (disturbi ai circuiti di binario)

Poiché la comparsa degli alimentatori statici nella tecnica della trazione è relativamente recente, la sua tecnologia è ancora in evoluzione e quindi pesi e costi sono destinati a diminuire. In conseguenza della poca esperienza a tutt'oggi fatta con questi tipi di azionamenti un esame dei pregi e dei difetti non è facilmente quantizzabile in termini economici.

Nelle automotrici belghe 08 si è scelto il chopper, mentre per le 472 si è rimasti allo schema convenzionale ed altrettanto si è fatto per la parte a corrente continua delle 313 bitensione. Per le elettromotrici veloci Z2 della SNCF, il progetto originale a chopper è stato abbandonato, quando si sono avuti elementi sufficienti per valutarne i costi e, pur riconoscendo che si tratta di un passo indietro, si è fatto ritorno al sistema reostatico. Va tenuto conto peraltro che la Z2 è una automotrice veloce (160 Km/h) destinata a fare poche fermate e quindi non molto sensibile all'economia di avviamento.

Il "chopper" d'altra parte non deve essere adottato soltanto per ottenere un avviamento graduale e non dissipativo, ma anche per



conseguire altri importanti vantaggi che solo l'elettronica può dare, e che sono stati sopra richiamati. Sono considerazioni di questo genere che hanno portato alla scelta del chopper nei treni 644/804 in corso di costruzione per le FS, scelta opportuna, visto anche il servizio tipicamente locale al quale questo materiale è destinato.

Sulle RADDe 8/16 è già applicato il raffreddamento ad olio dei thyristors; tale tecnica, anche se non condivisa da tutti i costruttori, può rendere, a parità di potenza, più compatto l'azionamento e semplificare il problema del filtraggio dell'aria di ventilazione.

## 2.12 Sistemi di frenatura

La classica frenatura con ceppi di ghisa striscianti sui cerchioni viene nel materiale automotore quasi sempre fiancheggiata se non integralmente sostituita da altri sistemi come i freni a disco, oltre alla frenatura dinamica, reostatica o a recupero per le motrici elettriche o Diesel elettriche, ed idrodinamica nel caso di motrici Diesel idrauliche.

L'applicazione del freno a dischi presenta qualche difficoltà costruttiva soprattutto per gli assi motori. Così sulle 4030, 801/940 e GAI, i dischi sono montati solo sui rimorchi, sulle 06 e 08 i dischi degli assi portanti sono calettati sull'asse, mentre quelli degli assi motori sono applicati da entrambe le parti alle ruote.

Spesso sono conservati i freni a ceppi, più che altro con funzione di ravvivatura del cerchione (ceppo pulitore) per migliorarne l'aderenza; il contributo dei ceppi alla frenatura è appena del 15%.



Il freno dinamico agisce ovviamente soltanto sugli assi motori e perde efficacia a bassa velocità. Esso deve perciò venir integrato anche per ragioni di sicurezza dalla frenatura meccanica sugli assi portanti ed eventualmente da una frenatura sussidiaria sugli assi motori che interviene soltanto al di sotto d'una certa velocità.

In genere, il freno reostatico agisce sugli assi motori fino ad una certa velocità, oltre la quale interviene il freno meccanico; la decelerazione che si ottiene è dell'ordine di  $0,8 - 1 \text{ m/sec}^2$ . In casi di urgenza il freno meccanico agisce sugli assi motori anche a velocità più alta, senza escludere la frenatura reostatica; la decelazione arriva allora a  $1,1 \text{ ms.}^{-2}$

La composizione fissa di questi tipi di treni consente di ottenere soluzioni e sistemi di comando del freno che sui treni ordinari saranno possibili solo quando sarà stato introdotto l'aggancio automatico.

Così sulle 08 è applicato il freno elettropneumatico, mentre il sistema Westcode è montato sulle 313.

In molti casi l'intensità della frenatura, sia meccanica che dinamica, viene regolata dalla pressione esistente nei cuscini della sospensione secondaria pneumatica.

Il freno a pattini magnetico è applicato o almeno predisposto in alcuni casi, ma è assai dubbio che il costo e la complicazione che ne derivano siano giustificati da un'ulteriore diminuzione della distanza di frenatura, che di solito è già abbastanza ridotta. Comunque, non tutte le Amministrazioni ferroviarie ne ammettono l'uso, in alcuni casi è accettato solo come freno di emergenza, raramente come freno di esercizio.



### 13 Diametro ruote, passo carrelli

L'opportunità di tenere il piano del pavimento più basso possibile, ha fatto dimenticare la vecchia regola pratica per la quale il diametro delle ruote non dovrebbe essere inferiore a 850 mm. Le 472 a ruote usate hanno 780 mm e le 627/628 addirittura 710 mm (790 mm sempre a ruote usate raggiungono le RABD 12/12 e RABDe 8/16). Occorre comunque considerare che l'altezza del pavimento sul piano del ferro non può essere posta ad un livello minore di 200+250 mm. al di sopra del diametro delle ruote, se non si hanno necessità di maggiori volumi nel sottocassa per l'alloggiamento di apparecchiature elettriche di trazione.

I diametri maggiori p.es. 1020 sulle Z 5300 e 1010 sulle 08 sono imposti dal primitivo della ruota dentata calettata sull'asse motore, che non può scendere sotto una certa misura per contenere gli sforzi sui denti e non avere moduli troppo piccoli.

Significativo il fatto che il rimorchio delle Z5300, prima ricordate, ha ruote col diametro di 800 mm. a nuovo.

Il passo dei carrelli, che influisce sulle dimensioni del telaio e quindi sulla massa semi-sospesa, viene mantenuto in limiti modesti: per i carrelli motori è pressoché generalizzato il passo di 2500 mm (accettabile per le velocità massime cui è destinato questo tipo di treni); i carrelli portanti possono essere di passo minore 2300+2400 mm con evidenti risvolti di carattere economico.

Le Z5300 scendono sui carrelli dei rimorchi a 1670 mm, il che per la velocità di 120 Km/h non produce d'altronde preoccupazioni per instabilità dinamica.



APPENDICE A1 § 2.11



## IL DIODO E IL TIRISTORE

I componenti fondamentali di tutta l'elettronica di potenza usati in trazione sono il diodo ed il tiristore (o diodo controllato). Entrambi i componenti sono formati da cristalli di silicio, nel reticolo cristallino dei quali, l'introduzione di atomi estranei (impurità) determina la conducibilità: di tipo N o di tipo P a seconda del tipo di impurità immessa.

Una giunzione P-N fra due cristalli forma un diodo (si ha passaggio di corrente nel senso  $P \rightarrow N$ , mentre il senso  $N \rightarrow P$  è bloccante).

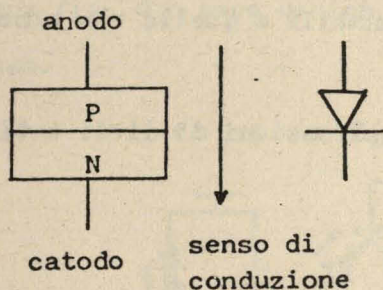


Fig. 1 - Costituzione e simbolo di un diodo

Un tiristore è costituito da quattro cristalli di silicio alternativamente di tipo P ed N,

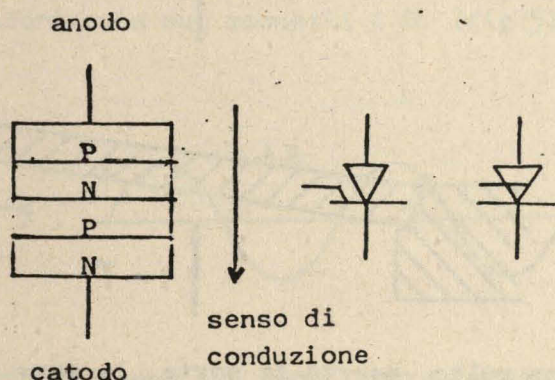


Fig. 2 - Costituzione e simboli di un tiristore

come può osservarsi in figura nella costituzione di un tiristore nei due sensi si ha sempre almeno una giunzione bloccante (tipo NP).



Un tiristore non eccitato, pertanto si comporta come un isolante ed interrompe il circuito nei due sensi. Soltanto quando riceve un impulso d'accensione fra elettrodo di comando e il catodo, e se la tensione applicata è nel senso della conduzione, comincia a condurre e continua fino a quando la tensione non si inverte o comunque non si annulla.

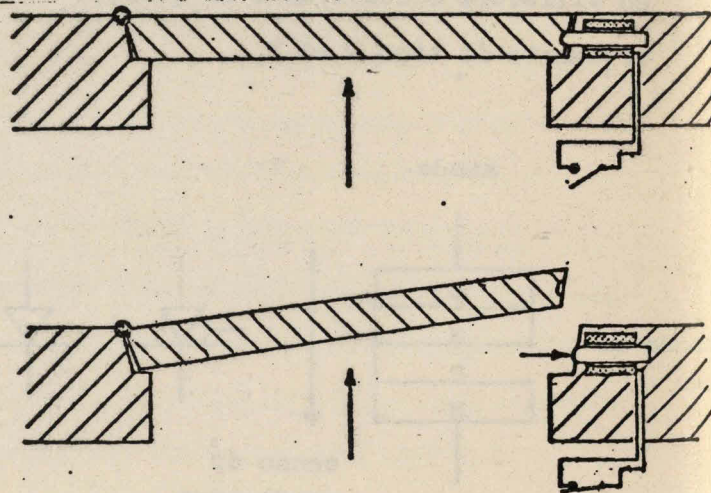
Per ricominciare a condurre anche quando la tensione si ristabilisce nel senso giusto, occorre un nuovo impulso.

Va chiarito che l'impulso di accensione è necessario soltanto per iniziare la conduzione, che poi si mantiene da sola e può venire interrotta soltanto per potenze paragonabili a quelle che sono in gioco nel tiristore (\*)

Si riportano appresso le principali applicazioni di diodi e tiristori.

(\*) Una porta a battente senza serrature si comporta verso un vento pulsante come un diodo semplice.

Una piccola serratura a scatto che blocca nella posizione di chiusura la rende invece analoga ad un tiristore. Il vento non potrà aprire la porta, anche soffiando nel verso giusto, fino a che un impulso esterno (di minima potenza) non richiama per un istante il chiavistello; poi, una volta aperta la porta, la serratura non può fare più nulla, fino a che un colpo di vento in senso opposto non rimette la porta in posizione di chiusura.





### 1.1 Raddrizzatore monofase

E' costituito da un ponte di quattro diodi orientati come indicato in fig.3

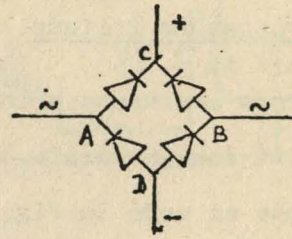
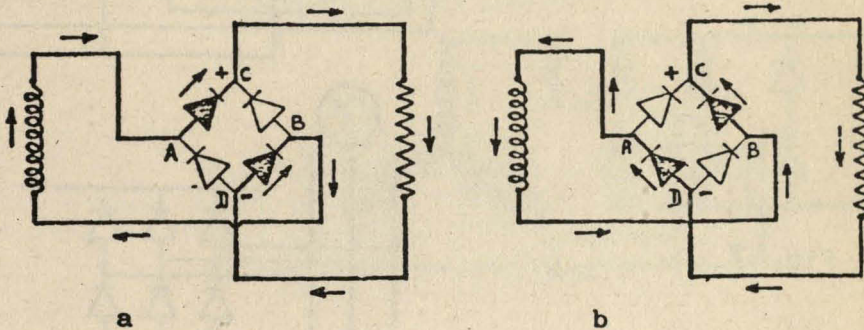


fig. 3

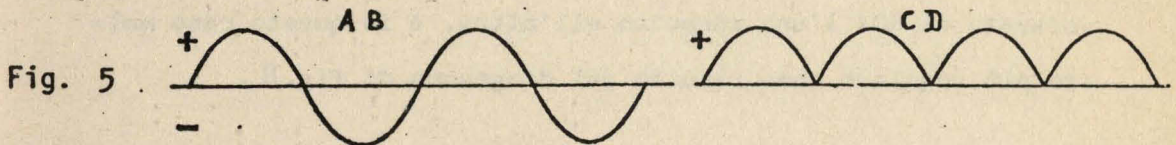
Qualunque sia la polarità dei morsetti A B ai quali viene collegata la sorgente alternata, il morsetto C sarà sempre positivo ed il morsetto D sempre negativo.

In altre parole sia che la corrente venga da destra fig.4 a o da sinistra fig. 4 b essa uscirà sempre in alto e rientrerà sempre in basso.

Fig. 4



Una alimentazione monofase sui morsetti AB da luogo ad una corrente raddrizzata sui morsetti C D. (fig.5).



La corrente monofase raddrizzata ha ancora un elevato grado di irregolarità e richiede per essere impiegata in trazione un opportuno filtraggio o spianamento, che si ottiene con circuiti induttivi.

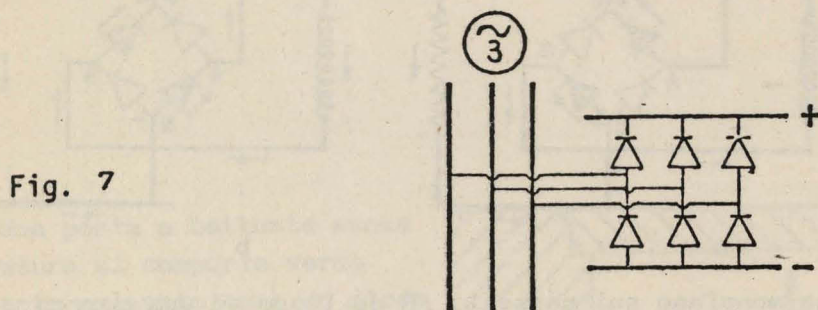
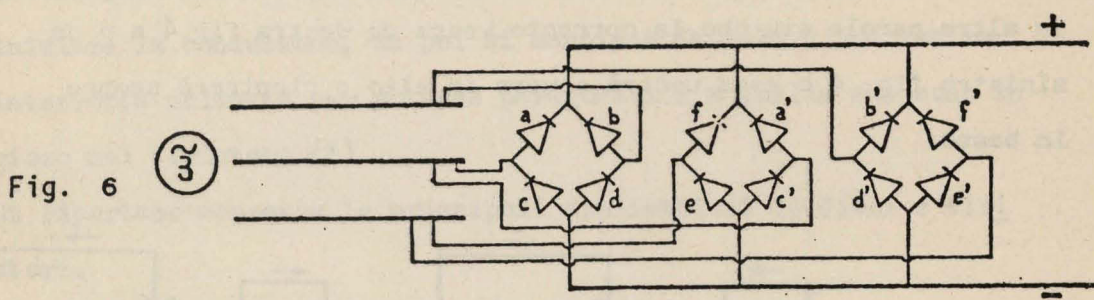


## 1.2 Raddrizzatore trifase

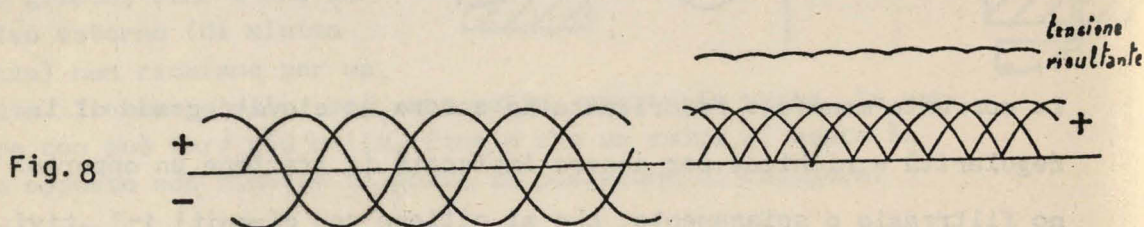
Seguendo lo stesso principio si dovrebbero impiegare per le tre fasi 3 ponti con in totale  $4 \times 3 = 12$  diodi.

Ma come si vede in fig. 6 i collegamenti necessari sono soltanto 6 in quanto a due a due i rami dei raddrizzatori monofasi risultano in parallelo.

Lo schema assume quindi la forma di fig. 7 (ponte di Graetz trifase)



La corrente raddrizzata, risultante dalla somma di semi onde sfasate di  $60^\circ$  l'una rispetto all'altra, è in questo caso molto più regolare come risulta dal diagramma di fig. 8.





Si vede dalla fig. 9 come per qualsiasi pulsazione della corrente nel generatore trifase rimane invariata la polarità del raddrizzatore e costante la direzione della corrente nel circuito esterno.

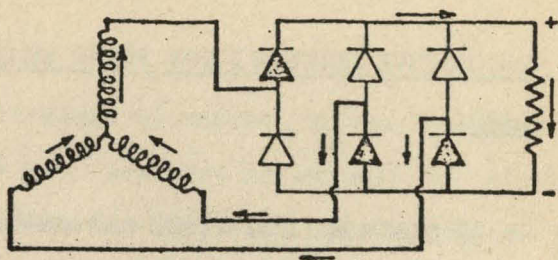
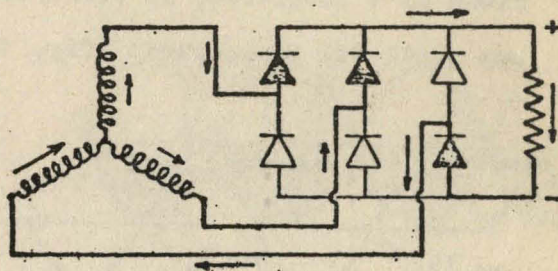
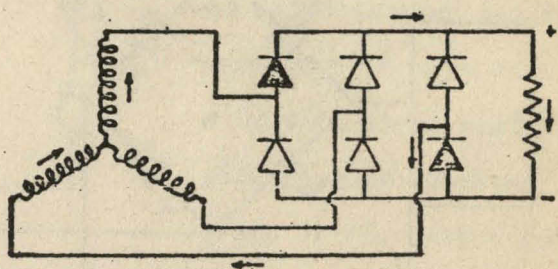


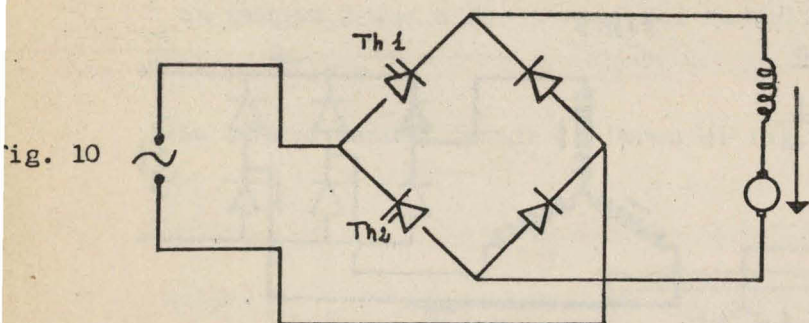
fig. 9





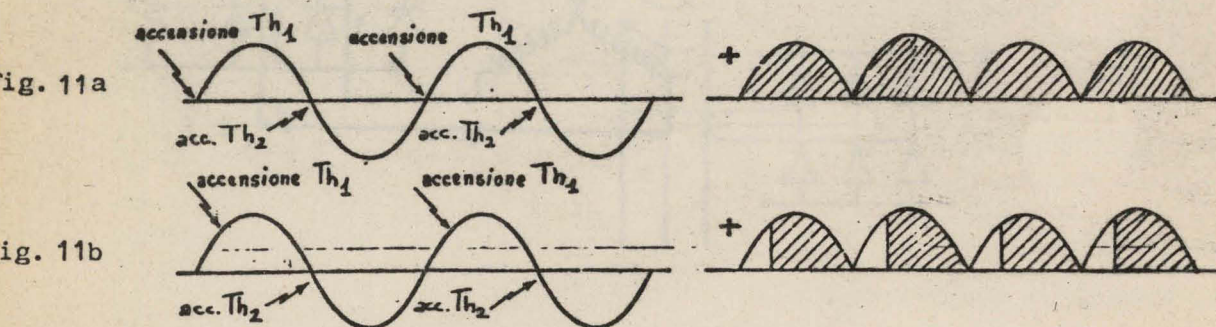
## 2. LOCUMOTIVE MONOFASI CON PONTE SEMICONTROLLATO O COMPLETAMENTE CONTROL- LATO

Se al posto di due diodi nel ponte di figura 4 si montano due tiristo-  
ri ( $Th_1$  e  $Th_2$ ) disposti come in figura 10, si ha un ponte semicontrol-



lato. Il ponte si com-  
porta ancora in modo  
identico al ponte di  
soli diodi soltanto se  
i tiristori sono già  
eccitati al momento del  
la inversione di corren-

te (fig. 11 a), ma se l'accensione è sfasata ed avviene dopo che la ten-  
sione si è invertita, il tiristore lascia passare corrente soltanto per  
una parte del semiperiodo (fig. 11 b).

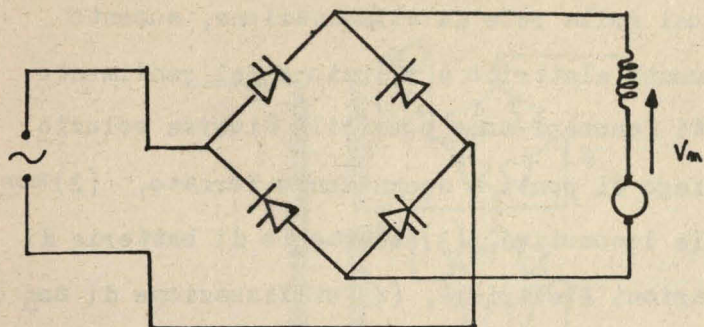


Poichè il ritardo di accensione può variare fra zero ed il tempo di un  
semiperiodo, si ottiene oltre al raddrizzamento la possibilità di rego-  
lazione della tensione ai capi del motore graduabile con continuità fra  
poco più di zero e poco meno del 100% (\*).

(\*) Sulla frequenza industriale la regolazione avviene in pratica  
fra il 2-3% ed il 96-97% del carico massimo, in relazione al  
fatto che il tempo di accensione e la durata minima di conduzio-  
ne sono dell'ordine di qualche diecina o poche centinaia di mi-  
crosecondi.



Se oltre alla regolazione della tensione al motore, si vuole ottenere anche la possibilità di frenatura con recupero di energia in linea il ponte dovrà essere composto da quattro tiristori come in figura 12 (ponte completamente controllato).



In questo caso il ritardo di accensione dei tiristori sarà fra zero e la metà di un semiperiodo per la trazione (fig. 13 a), mentre fra

la metà del semiperiodo ed il semiperiodo si ha la regolazione dalla frenatura a recupero (fig. 13 b).

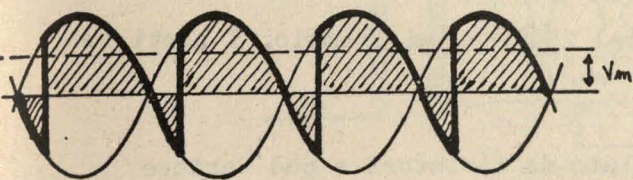


fig. 13/a

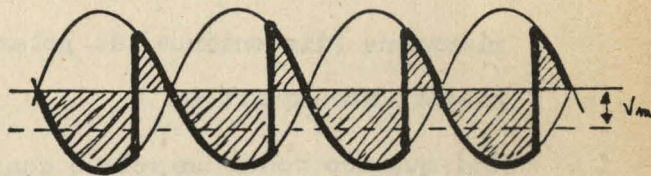
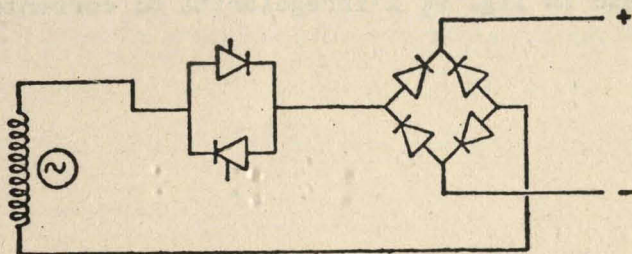


fig. 13/b

Altri schemi sono possibili, come quello di conservare il ponte raddrizzatore a diodi semplici ed alimentarlo con una coppia di tiristori sistemati in senso inverso, che provvedono soltanto alla parzializzazione della potenza.

fig. 14





In ogni caso però, l'introduzione di tiristori per la parzializzazione continua della potenza viene pagata con un aumento della circolazione di potenza reattiva (abbassamento del fattore di potenza :  $\cos \varphi$ ) e con un aumento del grado di irregolarità (abbassamento del fattore  $\lambda$ ) con conseguenti ripercussioni sulla rete di alimentazione, aumento delle perdite per riscaldamento elettrico e riduzione del rendimento. Per l'attenuazione di questi fenomeni sono possibili diverse soluzioni e precisamente: (1) impiego di ponti a spegnimento forzato, (2) montaggio di condensatori sulle locomotive, (3) montaggio di batterie di condensatori nelle sottostazioni elettriche, (4) utilizzo di montaggi di più ponti comandati in sequenza.

Il più impiegato è quest'ultimo sistema: usare cioè ponti collegati in parallelo sull'alternata ed in serie sulla alimentazione della corrente continua, in modo che l'esclusione di uno di essi corrisponda ad una riduzione (discontinua) di potenza del 25%, se, ad esempio, i ponti impiegati sono quattro.

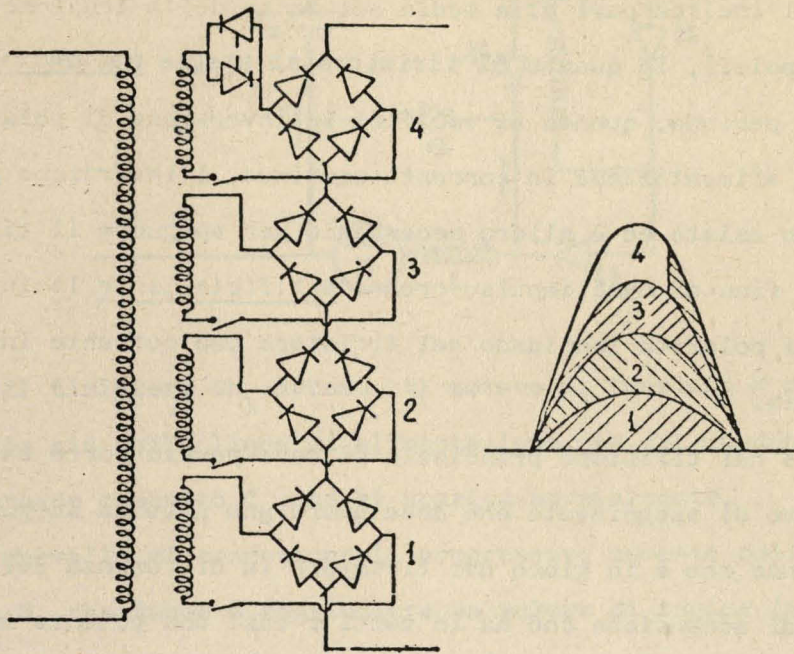
Dei quattro ponti uno solo è controllato da tiristori e può variare in modo continuo il suo contributo di potenza da zero al 25%, gli altri tre ponti sono a diodi semplici e partecipano in modo discontinuo alla fornitura dello 0%, del 25%, del 50% o del 75% della potenza, secondo che ne siano inseriti nessuno, uno, due o tre. Così, pur limitando le prestazioni da tiristori ad un quarto della potenza totale, si può con opportuna commutazione avere una regolazione continua sul 100% della potenza stessa.

Come è rappresentato in fig. 15 l'irregolarità di corrente dipende



soltanto dal 25% della potenza ed è perciò molto più ridotta.

ig. 15





### 3. IL CHOPPER

Partendo da una alimentazione in corrente alternata è molto facile, come si è visto, ottenere una serie di impulsi unidirezionali (dai quali ricavare una tensione continua, di valore all'incirca pari alla media nel tempo della tensione dei vari impulsi), in quanto il tiristore si spegne naturalmente ad ogni periodo, quando si verifica la inversione di polarità. Con una alimentazione in corrente continua, l'inversione periodica non esiste ed è allora necessario per spegnere il tiristore alla fine di ogni impulso creare artificialmente la inversione di polarità lanciando nel tiristore una corrente in senso contrario.

A fianco del tiristore principale si deve perciò porre un dispositivo di spegnimento che deve avere una potenza adeguata alla potenza che è in gioco nel tiristore (a differenza del dispositivo di accensione che ha in tutti i casi una potenza molto piccola).

Il chopper è l'insieme dell'apparecchio che, utilizzando questi dispositivi, riesce a fornire da una alimentazione continua una serie di impulsi di durata controllata.

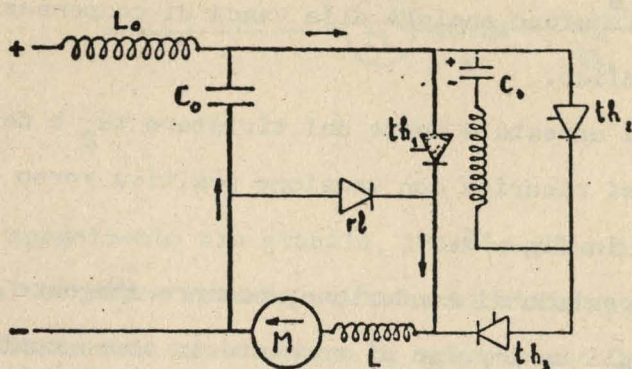
La parola (to chop= tagliare con la scure) ricorda solo la funzione di "affettare" la tensione di alimentazione e di fornirla ad impulsi regolari di breve durata ed altrettanto avviene per il termine francese "hacheur" (da hache= ascia).

Etimologicamente perciò anche un interruttore meccanico che lancia degli impulsi unidirezionali, sarebbe un "chopper", ma, nell'uso comune, con questa parola si intende esclusivamente l'apparecchio completo di tutti i dispositivi di filtraggio e di spianamento a monte ed a valle che assolve elettronicamente questa funzione.



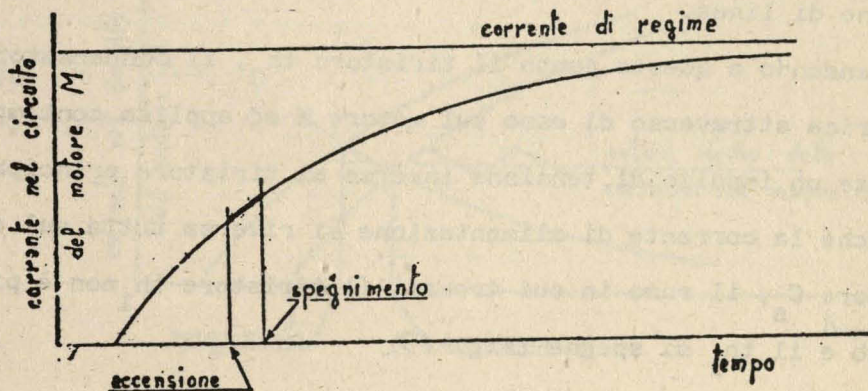
Nella fig. 16 è rappresentato uno dei possibili schemi di chopper in condizioni di conduzione, cioè negli istanti che seguono l'accensione del tiristore principale  $th_1$ .

fig. 16



Attraverso il tiristore  $th_1$  acceso, il motore di trazione  $M$  riceve corrente sia dalla linea di alimentazione che dal condensatore di grande capacità  $C_0$ , che si scarica parzialmente. Durante l'intervallo di conduzione il progressivo aumento della corrente in  $M$ , che tende a raggiungere un valore di regime (molto alto), produce nella induttanza  $L$  una forza elettromotrice che si oppone alla tensione principale e che mantiene la tensione al motore  $M$  ad un valore più basso della tensione di linea. Fino al momento della successiva interruzione la corrente e la tensione aumentano secondo legge esponenziale come indicato in fig. 17

fig. 17





E' importante notare che la corrente  $I_m$  che attraversa il motore è la somma della corrente  $I_a$ , che alimenta il chopper più la corrente  $I_{C_0}$  fornita dal condensatore  $C_0$ , che svolge in questo caso una funzione analoga alla vasca di compensazione in un circuito idraulico.

La corrente si arresta a monte del tiristore  $th_2$  e del condensatore  $C_s$ , che si ricarica con tensione positiva verso la linea, come indicato in fig. 16.

Trascorso il periodo di conduzione, occorre spegnere il tiristore  $th_1$ , inviandogli un impulso di corrente in senso contrario.

Per avere una sorgente di elettricità orientata in senso contrario alla tensione di alimentazione, si determina,

attraverso l'accensione e l'immediato spegnimento del tiristore  $th_2$ , l'inversione delle cariche sul condensatore  $C_s$ . (In pratica il circuito di spegnimento si mette in oscillazione e si blocca automaticamente dopo mezzo periodo). (Fig. 18).

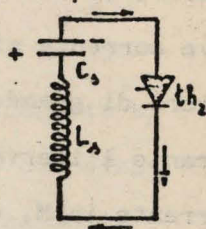


fig. 18

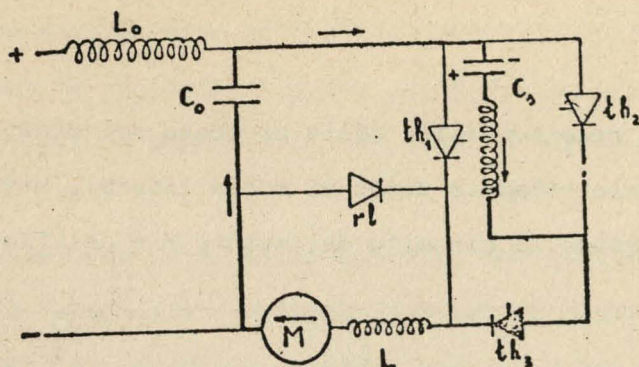
I tratti percorsi da corrente sono ancora gli stessi di fig. 16, ma la distribuzione della tensione è mutata per l'inversione di polarità del condensatore  $C_s$ .

E' questa la situazione di maggiore sollecitazione dell'isolamento, poiché il tiristore  $th_3$  si trova ad una tensione doppia della tensione di linea.

Accendendo a questo punto il tiristore  $th_3$ , il condensatore  $C_s$  si scarica attraverso di esso sul motore M ed applica contemporaneamente un impulso di tensione inversa al tiristore principale  $th_1$ . Poiché la corrente di alimentazione si riversa tutta sul condensatore  $C_s$ , il ramo in cui trovasi il tiristore  $th_1$  non è più alimentato e il  $th_1$  si spegne (Fig. 19).



fig. 19



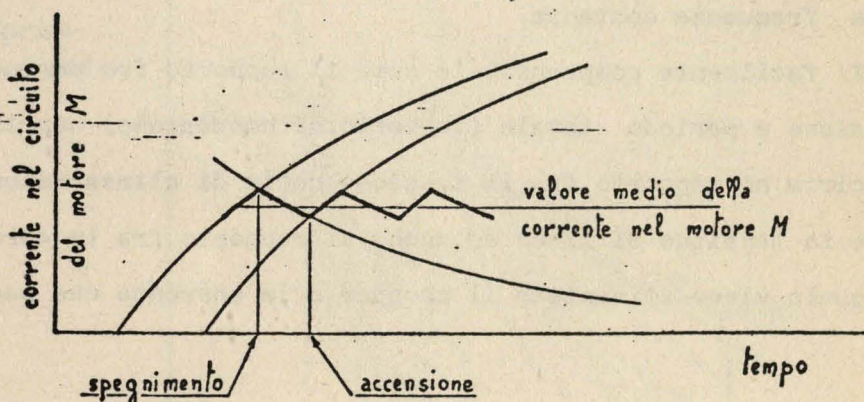
Perché lo spegnimento sia stabile, l'inversione di polarità deve durare qualche micro secondo, ciò che si ottiene con l'opportuno dimensionamento del condensatore di spegnimento  $C_s$ .

Anche il tiristore  $th_3$  si spegne subito dopo, perché, una volta riacquistata la polarità iniziale, il condensatore  $C_s$  blocca il flusso di corrente.

Da questo istante e fino alla successiva riaccensione del tiristore  $th_1$  il motore  $M$  non è più alimentato dalla linea e deve funzionare sfruttando l'energia accumulata nella induttanza  $L$  durante il periodo di conduzione.

Al diminuire della corrente, che con legge esponenziale (diversa dalla precedente) tende ora al valore zero (fig. 20), l'induttanza fornisce una tensione che, agendo nello stesso senso della tensione di alimentazione, fornisce al motore la potenza necessaria.

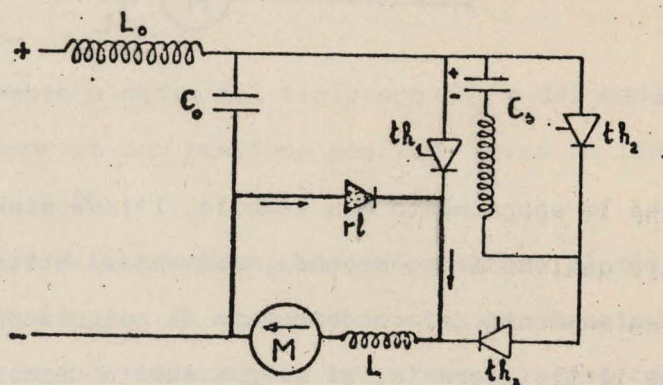
fig. 20





Il tutto è reso possibile dalla presenza del diodo  $r_l$  (significativamente chiamato diodo di ruota libera), attraverso il quale si chiude il circuito del motore  $M$  e dell'induttanza  $L$ .

fig. 21



Durante l'intervallo di non conduzione il condensatore  $C$  continua ad essere alimentato dalla linea e si riporta al valore massimo di tensione.

Il periodo di non conduzione si prolunga fino a quando la tensione ai morsetti del motore si è riportata al valore iniziale.

Nei chopper per trazione si usa tenere costante il periodo totale, cioè il tempo di conduzione più tempo di non conduzione (dell'ordine di alcuni millisecondi) e si regola la potenza variando la durata del periodo di conduzione. Questa regolazione viene chiamata a frequenza costante.

E' facilmente comprensibile come il rapporto fra periodo di conduzione e periodo totale (rapporto di conduzione) corrisponde all'incirca al rapporto fra la tensione media di alimentazione del motore e la tensione di linea ed anche al rapporto fra la corrente con la quale viene alimentato il chopper e la corrente che passa nel motore.



Pertanto, variando il rapporto di conduzione può essere variata la corrente che attraversa il motore e cioè la tensione alle spazzole.

E' superfluo aggiungere che, a parte le perdite, il prodotto della corrente per la tensione di alimentazione del chopper è uguale al prodotto della corrente per la tensione ai morsetti del motore di trazione.

Si può quindi dunque, ben a ragione, affermare che, con questa importante scoperta, si è estesa alla corrente continua la possibilità di trasformazione dei fattori della potenza, che una volta era prerogativa esclusiva della corrente alternata.

#### 4. CARATTERISTICHE SFORZO-VELOCITA'

Poiché l'impiego di convertitori tipo chopper a bordo delle locomotive elettriche con alimentazione in tensione continua consente di regolare con continuità la tensione applicata alle spazzole degli indotti dei motori di trazione, la stessa tecnica può essere applicata per alimentare gli avvolgimenti di eccitazione, consentendo così di variare con continuità anche la tensione applicata ai loro capi e quindi la corrente che li attraversa e cioè consentendo di ottenere l'indebolimento del campo di eccitazione senza discontinuità.

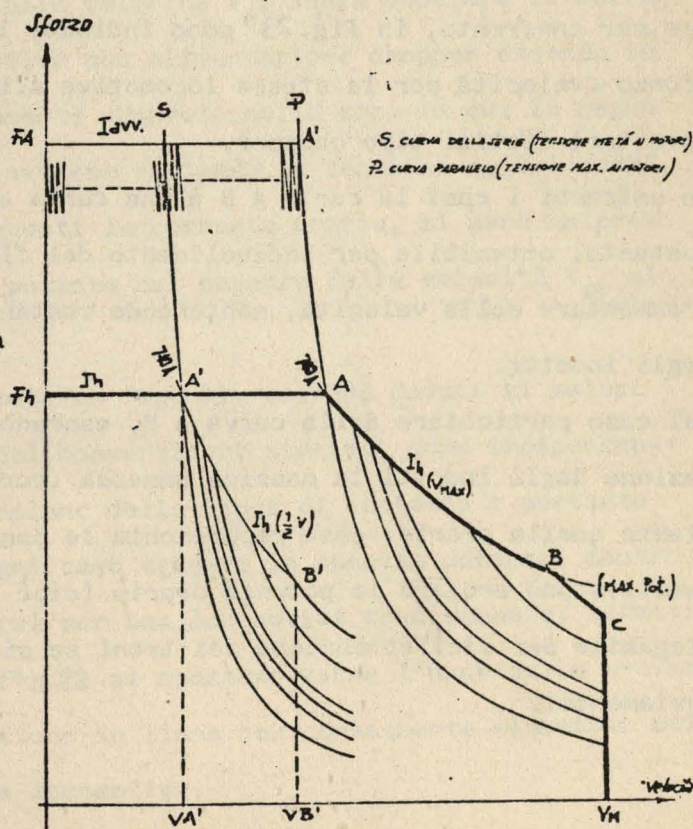


fig. 22  
Caratteristiche sforzo-velocità di una locomotiva tradizionale



La regolazione delle due grandezze ricordate (necessaria per regolare la velocità e gli sforzi di trazione) è effettuata sulle locomotive tradizionali mediante un reostato che, posto in serie agli indotti dei motori di trazione, ha la funzione di consentire la variazione della tensione applicata ai morsetti da valori molto bassi fino al valore della tensione di alimentazione della catenaria. Il reostato, sia per dimensionamento, e cioè per motivi di ingombro e di peso, sia per ragioni di rendimento, non è impiegabile in modo continuativo, ma solamente per gli avviamenti; per regolare la velocità delle locomotive durante la marcia, restano così disponibili solamente le possibilità derivanti dalle diverse combinazioni dei motori e quelle dovute all'indebolimento del campo di eccitazione dei motori (velocità economiche).

In fig. 22 sono riportate le curve caratteristiche di una locomotiva di tipo tradizionale avente due combinazioni dei motori e cinque gradi di indebolimento di campo (12 velocità economiche) mentre, per confronto, in fig. 23 sono indicate le caratteristiche sforzo-velocità per le stesse locomotive alimentate però con convertitori statici tipo chopper.

In entrambi i casi la curva A B è una curva a corrente di armatura costante, ottenibile per indebolimento del flusso di eccitazione all'aumentare della velocità, mantenendo costante la tensione ai capi degli indotti.

Nel caso particolare della curva A B, essendo la tensione di alimentazione degli indotti la massima ammessa (curva P) e la corrente costante quella oraria, essa rappresenta le condizioni in cui la locomotiva può erogare la potenza oraria (cioè la massima potenza impiegabile per l'effettuazione dei treni se si prescinde dal loro avviamento).



Se  $V_m$  rappresenta la velocità massima ammessa, per non superare le prestazioni orarie della locomotiva questa dovrà essere utilizzata mantenendo il suo punto caratteristico di impiego entro l'area delimitata dalla spezzata  $F_h ABCV_m$  e solo per breve tempo, durante gli avviamenti, l'utilizzazione può essere estesa all'area delimitata della spezzata  $F_A A' ABCV_m$ .

Mentre nelle locomotive di tipo tradizionale entro queste aree, indipendentemente dalle fasi reostatiche, la locomotiva può essere impiegata solo in uno dei punti cadenti su una delle caratteristiche tracciate in fig.22, nella locomotiva con alimentazione statico può essere impiegato uno qualsiasi dei punti del piano F-V compreso entro le aree diversamente tratteggiate di fig. 23.

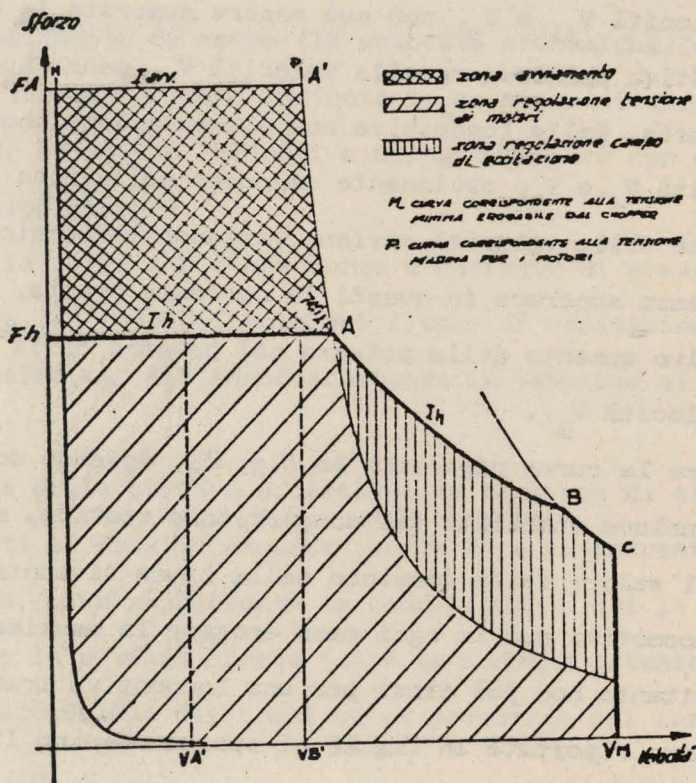
Si osserva inoltre che la regolazione consentita nelle locomotive tradizionali, agendo sull'indebolimento di campo, a metà tensione (serie) avviene a potenza costante e pari alla metà della potenza massima erogabile dalla locomotiva. Nel campo cioè fra le velocità  $V_A$  e  $V_B$ , non può essere superata la potenza che la locomotiva può erogare alla velocità  $V_A$ , senza superare la corrente oraria. Nelle locomotive con alimentazione chopper essendo la velocità  $V_A$  e  $V_B$ , ovviamente comprese nella zona in cui la regolazione della velocità avviene variando la tensione agli indotti, pur senza superare in questi la corrente oraria, si avrà un progressivo aumento della potenza nel passare dalla velocità  $V_A$  alla velocità  $V_B$ .

Inoltre le curve riportate in fig. 23, essendo dovute ai valori di tensione stabiliti dal convertitore statico, sono indipendenti dal valore della tensione della linea di contatto e pertanto la locomotiva può in ogni caso erogare la massima potenza, mentre altrettanto non può dirsi per una locomotiva tradizionale; infatti le curve riportate in fig.22 si spostano verso l'asse delle ordinate al diminuire della tensione in linea con conseguente riduzione della potenza erogabile dalla locomotiva.



In proposito si accenna al fatto che le curve P sono state tracciate sulle due figure nella stessa posizione solo per render più immediato il confronto, ma in generale, potendo i motori di trazione essere sempre impiegati ad una tensione superiore a quella nominale (1800 V anziché 1500 V), anche lo alimentatore statico può essere facilmente previsto per le potenze corrispondenti alla tensione superiore, con conseguente aumento della potenza della locomotiva (curve P spostate a destra in fig. 23). Infine l'eliminazione delle discontinuità di coppia dovute all'esclusione del resostato e quindi la possibilità di poter effettuare gli avviamenti con una coppia alle ruote rigorosamente costante consente di sfruttare meglio il peso aderente della locomotiva e quindi di aumentare gli sforzi di avviamento.

fig. 23  
Caratteristiche  
sforzo-velocità  
di una locomotiva  
con alimentazione  
a chopper





### 3 - CARATTERISTICHE GENERALI DELLE CARROZZE

#### 3.1 Carrozze per servizi di 2° tipo

Nel campo del materiale rimorchiato si sono prese in considerazione le carrozze per treni vicinali serie nB delle FS e le carrozze a 2 piani serie Be e derivate della SNCF. Il tipo di servizio effettuato da queste due serie di carrozze è il 2° della classificazione fatta al cap.2 par.1; infatti la lunghezza media dei servizi effettuati varia dai 70 Km per la serie nB ai 45 Km della serie Be. D'altronde l'utilizzazione ottimale cui sono destinate queste carrozze è ben chiaramente definita dalle Amministrazioni stesse: "carrozza per treni vicinali" (serie nB) e "voiture de banlieue" (serie Be). Le carrozze esaminate sono elencate nella tabella 3.1.

#### 3.2 Composizione massima dei convogli; organi di aggancio

Non sembra che le Amministrazioni ferroviarie cui queste carrozze appartengono abbiano in esercizio tipi di locomotive specializzate per il traino di convogli vicinali né tantomeno che abbiano destinato un tipo specializzato di locomotiva al traino di queste carrozze.

Non si può quindi definire in assoluto una composizione massima, la quale dipende, tra l'altro, anche dal tipo di locomotiva. I limiti di composizione indicati nell'All.A sono riferiti alla locomotiva serie 646 per le carrozze nB (13 vetture) e alla locomotiva serie 17000 per le carrozze Be (8 vetture), come risulta dalle indicazioni fornite dalle Amministrazioni.



TAB. 3.1

MATERIALE RIMORCHIATO PRESO IN ESAME

		S E R I E
ITALIA FS	carrozza rimorchiata	nB (*)
	carrozza pilota	np BD
FRANCIA SNCF	carrozze bipiano rimorchiate	Be -ABe (**)
	carrozze bipiano pilota	Bxe
	carrozze bipiano con bagagliaio	BDe

(\*) n= navetta B= II classe p= pilota D= bagagliaio

(\*\*) A= I classe B= II classe D=bagagliaio x=pilota



Nel cap. 2 par.8.1 si è invece fatto riferimento alle locomotive SNCF serie 25100 per le carrozze a due piani per poter avere un campo di velocità paragonabile con quelli del materiale automotore esaminato.

Gli organi di aggancio di entrambi i tipi di carrozze sono del tipo classico manuale; d'altronde è noto che l'adozione dell'aggancio automatico sulle carrozze comporta per le Amministrazioni ferroviarie il problema di non poter accoppiare tra loro materiali promiscui, il che rappresenta una notevole limitazione alla flessibilità dell'esercizio.

Comunque il telaio delle carrozze tipo nB è predisposto per l'adozione dell'aggancio automatico (del tipo UIC).

### 3. Dimensioni geometriche ed utilizzazione delle superfici

Le due serie di carrozze esaminate hanno lunghezze totali intorno ai 25 metri: esattamente 26400 mm per le carrozze serie nB e derivate e 24280 mm per le carrozze serie Be e derivate, con eccezione della pilota Bxe che è più lunga di mezzo metro (24780 mm).

E' evidente, nelle carrozze a due piani francesi, l'esigenza di avere una cassa relativamente corta per non aumentare il carico per asse, che già a vuoto è mediamente superiore alle 10 t.

La larghezza della cassa è di 2855 mm per la serie nB e 2846 mm per la serie Be; la larghezza interna è di 2715 mm per la serie nB e di 2734 mm per la serie Be.

Nella tabella 3.2 è riportata, per le carrozze esaminate, la utilizzazione percentuale delle superfici (\*).

---

(\*) La superficie totale utile rispetto alla quale sono riferite le utilizzazioni percentuali dei servizi, dei corridoi, etc, è stata calcolata moltiplicando la larghezza interna delle carrozze per la lunghezza totale utile. Nel caso delle carrozze bipiano francesi la lunghezza totale utile è la somma della lunghezza del pavimento del piano superiore e della lunghezza fra i respingenti. Nel caso delle carrozze italiane la lunghezza totale utile è uguale alla lunghezza tra i respingenti.



TAB. 3.2

UTILIZZAZIONE PERCENTUALE DELLE SUPERFICI (\*)

		F S		S N C F			(**)
		nB	np BD	Be	Bxe	ABe (o)	BD
Lunghezza fra i respingenti	mm	26400	26400	24280	24780	24280	24
Servizi (cabine guida, agganci, apparecchiature)	%	5,1	10,7	5,7	19,3	5,7	5
Vano sedili	%	61,0	42,9	63,4	52,8	60,7	6
Vestiboli+corridoi	%	31,6	27,1	29,5	26,5	30,8	30
Toilette	%	2,3	2,3	1,4	1,4	2,8	1
Bagagliaio	%	-	17,0	-	-	-	4

(\*) vedi nota pagina precedente

(\*\*) disposizione 3+2 in II classe

(o) disposizione 2+2 in I classe



La percentuale di superficie destinata ai servizi è pressoché identica nelle due serie di carrozze (con esclusione delle pilota) : 5,1% per la nB e 5,7% per le Ee ABe e BDe. La carrozza pilota francese Bxe ha invece una percentuale quasi doppia (19,3%) di quella della pilota italiana np BD (10,7%); la differenza è dovuta al fatto che la Bxe monta il compressore, le batterie di accumulatori e il gruppo convertitore.

La percentuale di superficie destinata ai passeggeri seduti (vano sedili) è pressoché uguale nelle due serie (con esclusione delle pilota) e oscillanti tra il 60% e 63,5%; nella pilota npBD questa percentuale (42,9%) è sensibilmente inferiore a quella della pilota bipiano Bxe (52,8%), perché oltre alla cabina guida è presente anche il bagagliaio che sottrae superficie ai passeggeri.

Anche la percentuale di superficie destinata ai passeggeri in piedi (vestiboli + corridoi) varia di poco nelle due serie (con esclusione delle pilota) intorno al valore del 30%, da un minimo del 28,2% nella BDe ad un massimo del 31,6% nella nB. Nelle carrozze pilota la percentuale di superficie destinata ai passeggeri in piedi è del 27,1% per l'italiana e del 26,5% per la francese.

Le toilettes, sempre in numero di 1 per carrozza su tutti i tipi, eccetto la francese ABe con 2 toilettes (entrambe al piano inferiore), occupano percentualmente minor superficie nelle carrozze bipiano francesi a causa della maggiore superficie totale utile di queste ultime (vedi nota a pag. 77), pur essendo pressoché uguale l'area della toilette ( $1,40 \text{ m}^2$ ).

Notevole è invece la differenza di percentuale di superficie destinata al bagagliaio che nella npBD è del 17,0% ( $12,2 \text{ m}^2$ ) e nella bipiano BDe è appena del 4,1% ( $3,5 \text{ m}^2$ ).



### 3.4 Numero di posti, toilettes, bagagliai

Per i servizi a carattere prettamente pendolare la tendenza è quella di adottare la classe unica, anche se alcune Amministrazioni preferiscono conservare una limitata percentuale di posti di I classe.

La prima soluzione è generalmente adottata sulle carrozze serie nB e npBD mentre nelle bipiano francesi solo la serie ABe offre posti di I classe (66 posti, pari al 45,8% del totale dei 144 posti a sedere).

Le carrozze bipiano francesi offrono ovviamente un numero di posti a sedere sensibilmente superiore a quello delle carrozze FS: la Be offre un 64% in più (164 posti a sedere) rispetto alla nB (100), mentre la pilota Bxe offre un 91,4% in più (134 posti a sedere) rispetto alla npBD (70), che però ha anche il bagagliaio. Va però notato che sulle bipiano francesi è adottata la soluzione di 5 sedili per fila (3+2), mentre sulle vicinali italiane è adottata la più confortevole soluzione di 4 sedili per fila (2+2).

Nella tabella 3.3 è riportato il numero di posti a sedere, in piedi, totali e degli strapuntini. E' da notare che nelle vetture francesi il numero di posti in piedi è calcolato per un rapporto di  $5 \text{ persone/m}^2$ , mentre in quelle italiane il rapporto è di  $4 \text{ persone/m}^2$ .



Tab. 3.3

NUMERO DI POSTI

	F S		S N C F			
	nB	npBD	Be	Bxe	ABe	BDe
a sedere	100	70	164	134	144	156
in piedi	92	80	132	123	124	127
totali	192	150	296	257	268	283
urtini	No	5(di serv.)	11	11	11	9

N.B:nelle carrozze FS il numero di posti in piedi è calcolato per un rapporto di  $4 \text{ p/m}^2$ . Nelle carrozze SNCF il rapporto è invece di  $5 \text{ p/m}^2$  in 2<sup>a</sup> classe e  $4 \text{ p/m}^2$  in 1<sup>a</sup> classe



### 3.5 Porte di accesso, scalini, vestiboli, intercomunicanti

Dalla maggiore capacità di trasporto di queste carrozze rispetto al materiale automotore discende l'opportunità di disporre di porte di luce maggiore, onde non rallentare l'afflusso e il deflusso dei viaggiatori dal marciapiede alla vettura. Le carrozze della serie nB hanno una luce netta di circa 1300 mm, mentre nelle bipiano francesi, aumentando il numero di viaggiatori trasportati, la luce netta delle porte aumenta fino a 1800 mm. Il tipo di porte è a libro nelle carrozze nB e scorrevole esternamente nelle bipiano francesi; questo tipo di porte può forse presentare qualche problema nel caso di forti innevamenti tali da ostruire la guida esterna sulla quale scorre la porta.

Il comando dell'apertura è del tipo pneumatico per entrambi i tipi di carrozze. Nelle bipiano francesi è presente il dispositivo di blocco automatico delle porte.

Anche la presenza e il numero dei gradini, oltre alla luce delle porte, sono studiati per rendere più agevole l'afflusso e il deflusso dei viaggiatori.

Le carrozze FS ovviano alla mancanza in Italia di marciapiedi sopraelevati abbassando notevolmente il pavimento della cassa tra i carrelli (601 mm sul p.d.f.), e quindi il pavimento dei vestiboli che sono appunto posti fra i carrelli. Ne risulta quindi la mancanza di gradini di accesso nei vestiboli; due gradini interni servono per accedere dai vestiboli ai vani posti sopra i carrelli.

Nelle bipiano francesi invece i vestiboli (970 mm sul p.d.f.) sono posti sopra i carrelli per lasciare spazio alle scale interne di accesso al piano superiore. E' quindi presente un gradino posto a 680 mm sul p.d.f.



Gli intercomunicanti in genere non differiscono da quelli del materiale automotore più recente e sono pertanto realizzati con rulli di gomma; le porte di intercomunicazione sono del tipo scorrevole ad unica anta di 650 mm di luce netta nelle bipiano francesi e a due ante scorrevoli di circa 700 mm di luce netta nelle carrozze italiane. Gli intercomunicanti mancano nelle pilota Bxe all'estremità dove è situata la cabina di guida e nelle BDe all'estremità dove è situato il bagagliaio; nella npBD l'intercomunicante è presente anche nel lato della cabina di guida, ma la porta è del tipo a unico battente.

Nella tabella 3.4 sono riportati i dati relativi ad alcuni indici di accessibilità alle carrozze.

La percentuale della luce delle porte (sempre in numero di 2 per fiancata su tutti i tipi di carrozze prese in esame) sulla lunghezza totale utile (\*) è sempre del 10%.

Il rapporto tra superficie dei vestiboli e superficie dei vani destinati ai viaggiatori (quanto più elevato è questo rapporto tanto più rapida è la movimentazione dei viaggiatori) è compreso tra 0,20 e 0,28 e quindi piuttosto uniforme; infatti nelle bipiano francesi, ad una maggiore superficie dei vani destinati ai viaggiatori corrisponde anche una maggiore superficie dei vestiboli.

---

(\*) per la definizione di lunghezza totale utile vedi nota p. 77: nel caso delle carrozze tripiano francesi (Bc), non considerando nella lunghezza totale utile la lunghezza del pavimento del piano superiore, il valore di tale rapporto sale a circa il 15%.



Tab. 3.4

INDICI DI ACCESSIBILITA' ALLE CARROZZE

	F S		S N C F		
	nB	npBD	Be	Bxe	ABe
Lunghezza fra i (mm) e respingenti	26400	26400	24280	24730	24280
$\frac{\text{Luce porte}}{\text{lunghezza totale utile}}$ (*)	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
$\frac{\text{m}^2 \text{ vestiboli}}{\text{m}^2 \text{ vano sedili+corridoi}}$	0,20	0,28	0,22	0,26	0,22
$\frac{\text{m}^2 \text{ vano sedili+corridoi}}{\text{numero porte}}$	28,5	20,4	36,9	30,7	36,9
altezza pavimento sul p.d.f. (mm)	601	601	970(**)	970(**)	970(**)
numero gradini	-	-	1	1	1
numero porte	2	2	2	2	2

(\*)per la definizione di lunghezza utile vedi nota p.77

(\*\*) il dato è riferito al pavimento del vestibolo



Il rapporto tra superficie dei vami destinati ai viaggiatori e numero delle porte per fiancata (quanto più basso è questo rapporto tanto più rapida è la movimentazione dei viaggiatori) è sensibilmente diverso tra carrozze italiane e francesi e ciò è dovuto al fatto che, a parità di numero di porte per fiancata, le carrozze bipiano hanno ovviamente una maggiore superficie destinata ai viaggiatori.

### 3.6 Struttura metallica e materiale impiegato

Per quanto riguarda la carpenteria le carrozze esaminate sono costruite secondo i canoni tradizionali: ossatura e rivestimento entrambi in acciaio. D'altronde l'uso della lega leggera nelle carrozze rimorchiate non sembra conveniente, non potendo lo sforzo longitudinale di compressione essere inferiore a 200 t, così come invece avviene nel materiale automotore (150t) che circola in convogli omogenei rispetto al parametro "sforzo di compressione".

### 3.7 Sospensioni, arredamento, abitabilità

La sospensione primaria (tra carrello e assi) è costituito da molle a elica e ammortizzatori nelle carrozze italiane mentre in quelle francesi è realizzata da molle ad elementi in gomma.

Sostanziale è la differenza della sospensione secondaria (tra carrello e cassa) tra le carrozze italiane e francesi: quest'ultime infatti hanno la sospensione pneumatica che consente, come è noto, di mantenere costante il livello della cassa al variare del carico ed è quindi molto utile in queste carrozze che hanno ovviamente un elevato rapporto tra carico utile e tara.



L'arredamento nelle carrozze italiane è caratterizzato essenzialmente dalla disposizione 2+2 dei sedili individuali, forniti di braccioli e poggiatesta che danno un livello di comfort molto ben accetto a chi compie viaggi di maggior percorrenza. Le bipiano francesi, con disposizione 3+2 in II classe, hanno i sedili privi di braccioli e poggiatesta anche in I classe dove la disposizione è 2+2. Pressochè identico è, nei due tipi di carrozze, il modulo dei sedili, sempre disposti vis-à-vis: 1540 mm nelle bipiano francesi e 1500 mm nelle nB italiane.

Il riscaldamento invernale è assicurato, in entrambi i tipi di carrozze, con il sistema della termoventilazione mentre il comfort estivo è limitato alla sola ventilazione, essendo il condizionamento sempre di scarsa efficacia a causa della estrema variabilità delle condizioni termoigrometriche e della consequente difficoltà di regolazione dell'impianto.

Per quanto riguarda le condizioni generali di abitabilità e comfort nelle carrozze bipiano francesi si rimanda al cap.2 par.7.

### 3.8 Prestazioni in trazione e frenatura

Si rimanda al cap.2 par. 8.

### 3.9 Diametro ruote, passo carrelli

Il diametro delle ruote rientra, per entrambi i tipi di carrozze, nella media dei valori già visti per il materiale automotore: 840 mm per le bipiano francesi e 940 mm per le nB (valori a nuovo).

Il passo dei carrelli è perfettamente identico: 2400 mm. Da notare che il nuovo carrello del tipo 24 FD1 montato sulle nB è idoneo a raggiungere velocità fino a 200 Km/h.



#### 4. RICERCA DEL CAMPO DI CONVENIENZA DELLE AUTOMOTRICI (E + R)

##### NEI CONFRONTI DEI TRENI CONVENZIONALI (L + C)

#### 4.1 Premessa

Anche se le prime applicazioni ferroviarie di automotrici elettriche o Diesel sono datate negli anni trenta, si continua a considerare questo materiale come "moderno" nei confronti dei treni classici formati da locomotive e carrozze rimorchiate. E, proprio come per tutte le "novità", è ancora in discussione la validità e la convenienza della soluzione. Mezzo secolo di esperienza in quasi tutte le reti del mondo ci ha soltanto insegnato che l'automotrice non è mai tanto conveniente da soppiantare del tutto l'altra forma di trasporto, nè lo è mai tanto poco da giustificare la propria scomparsa. Su tutte le reti convivono infatti treni classici ed automotrici, sia pure in proporzioni molto diverse da caso a caso, e quasi sempre, quando si deve impostare un nuovo servizio, viene messa in discussione l'opportunità di scegliere l'uno o l'altro sistema.

E' sorprendente constatare quanto spesso vengono prese decisioni opposte per situazioni di esercizio che risultano invece molto simili, ciò che dimostra che ai vantaggi e svantaggi che secondo i casi offre l'una o l'altra soluzione si attribuisce importanza diversa a seconda del punto di vista da cui vengono considerati.

Un esame retrospettivo ed una spiegazione del modo in cui l'automotrice ha avuto origine può essere d'aiuto ad una migliore comprensione del problema.

La drastica riduzione di traffico conseguente alla crisi economica mondiale iniziata nel 1929 era stata particolarmente avvertita sulle linee meno importanti, per le quali cominciava contemporaneamente a sentirsi la concorrenza della strada.



Poichè d'altra parte il mantenimento di certe comunicazioni costituiva un obbligo, al quale le Aziende ferroviarie non potevano sottrarsi, veniva fatto il possibile per contenere almeno la spesa di trazione riducendo allo stretto necessario la composizione dei treni e cercando di scegliere, volta per volta, locomotive di dimensioni e potenza adeguate. E' chiaro però che quando la composizione dei treni scendeva al di sotto di un certo minimo, al limite una sola carrozza, non si disponeva di una locomotiva abbastanza piccola, nè esisteva la convenienza di studiarla. Ma fu proprio allora che si palesò l'interesse di concentrare in un unico rotabile "automotore" questa ipotetica minima locomotiva e l'unica carrozza sufficiente ad assicurare il servizio viaggiatori.

Il bilancio non poteva che essere positivo in quanto, senza contropartita, si risparmiava tutto il rodiggio, le sospensioni e gran parte delle strutture della locomotiva, mentre alla formazione del necessario peso aderente contribuiva in parte il peso della stessa carrozza. Le prime automotrici a vapore realizzate come conseguenza diretta di questa logica non hanno però, come si poteva immaginare, avuto fortuna, sia per ovvi motivi di praticità, sia per l'impossibilità a quell'epoca di disporre di un generatore di vapore di piccola potenza e di rendimento accettabile.

La soluzione conveniente venne poco dopo, quando fu possibile disporre di motori a combustione interna (prima ad accensione e ben presto Diesel) sufficientemente affidabili per servizio ferroviario; il peso ridotto ed il rendimento assai più elevato del motore Diesel rendevano evidentissima l'economia di esercizio dell'automotrice isolata, nei confronti della trazione convenzionale con locomotive a vapore.

Parallelamente al favorevole aspetto economico il nuovo mezzo poté presto mettere in luce tali miglioramenti di prestazioni da risuscitare



re una domanda di trasporto così importante da porre fin da allora le aziende di fronte al dilemma se ritornare ai treni a vapore od adottare composizioni multiple di veicoli automotori.

Sulle linee a traffico più intenso d'altra parte l'automotrice isolata, che impegnava la potenzialità della linea e degli impianti quanto un treno di grande portata, era già rifiutata in partenza e soltanto si potevano considerare formazioni multiple di più automotrici.

E' proprio a questa intrinseca storica contraddizione fra l'impostazione di origine, per cui l'automotrice era concepita come veicolo singolo destinato a linee di modestissimo traffico, e la necessità di esercizio di usare invece le formazioni multiple, che vanno ricondotte tutte le incertezze che ancora oggi contraddistinguono l'impiego di questo mezzo di trazione.

Fintanto che la domanda di trasporto può essere soddisfatta con un solo veicolo, la convenienza dell'automotrice non ha bisogno di essere dimostrata, ma quando occorre mettere in composizione parecchie unità la situazione cambia ed il bilancio economico può anche risultare negativo; ed è proprio per questo che vanno approfonditi tutti gli aspetti del problema, perchè talvolta un maggior costo può essere accettato, se ad esso si accompagnano miglioramenti e vantaggi di altra natura, ai quali viene riconosciuta una particolare importanza.

Quattro sono gli aspetti fondamentali che meritano di essere esaminati:

**Tecnico** : qualità delle prestazioni.

**Economico** : costo di acquisto e di esercizio.

**Commerciale**: influenza sulla immagine del sistema di trasporto.

**Esercizio** : diversa facilità di impiego, utilizzazione del materiale e ripercussioni sulla circolazione.



## 4.2 Considerazioni tecniche

### 4.2.1 Peso del convoglio

A parità di posti offerti un convoglio di automotrici ha sempre un peso inferiore a quello di un treno di carrozze trainate da locomotiva. Nel ripartire su tutte le automotrici la motorizzazione delle locomotive, varia assai poco (e non sempre in più) il peso riferito all'unità di potenza dei motori e delle trasmissioni, mentre viene risparmiato tutto il peso della cosiddetta parte meccanica della locomotiva, costituita dai carrelli e dalla struttura portante. Inoltre l'ossatura di una automotrice è alquanto più leggera della corrispondente ossatura di una carrozza, per la minore severità delle prescrizioni di prova, che impongono la compressione longitudinale di 150 t per le automotrici e di 200 t per le carrozze. (\*)

Per avere un'ordine di grandezza del minore peso consentito dalla soluzione automotrice, si può confrontare il treno Ale 940 - Le 108, nella composizione M + R + R + M, che dispone di 404 posti seduti e pesa 220 t, con il treno 646 - carrozze a piano ribassato, nella composizione L+3C+S, che dispone di 390 posti seduti e pesa 260 t: a parità di posti, il minor peso del treno automotore è di 40 t; che costituisce un'economia del 15% circa.

Questa differenza si attenua naturalmente per le composizioni maggiori, ed è invece imponente quando il treno si riduce ad uno o due veicoli, anche perchè, come visto, la locomotiva non può scendere al di sotto di certe dimensioni minime.

Va infine rilevato che la differenza di peso tende ad accentuarsi con l'impiego delle leghe leggere: ad esempio il treno GAI, che dispone di 336 posti a sedere, pesa soltanto 160 t.

---

(\*) Ciò è dovuto al fatto che la carrozza può trovarsi inserita in un treno di grande lunghezza comprendente rotabili molto pesanti, mentre la automotrice non può che essere congiunta con materiale ad essa omogeneo ed in composizioni relativamente limitate.



L'importanza di questa caratteristica di "minor peso" dei treni M + R può essere colta appieno se si tiene conto che una delle esigenze fondamentali per il materiale specializzato per servizi vicinali è l'aumento della potenza installata per unità di massa.

L'aumento della potenza installata per treno trova però il suo limite nella potenza derivabile dalla linea di contatto e, con le attuali attrezzature della rete FS, si può ritenere che nel caso di un treno di mezzi leggeri non debba essere superata la potenza di 2000 - 2500 KW, per poter accoppiare fra loro almeno due treni e raggiungere così quello che può oggi ritenersi un limite da non superare per qualunque tipo di treno e cioè 4 + 5000 KW. Si deve perciò osservare che sia nei treni leggeri (Ale 801/940, GAI) sia in quelli di materiale pesante con locomotiva E 646 sono stati quasi raggiunti i limiti di potenza indicati e perciò ogni miglioramento della potenza specifica deve essere ricercato operando sull'altro fattore e cioè sulla massa o meglio sulla diminuzione della tara per posto offerto. La ricerca dell'alleggerimento deve essere dunque una componente comune di tutti i moderni materiali per servizi suburbani. In proposito debbono essere attentamente esaminate le possibilità offerte dalle carrozze a due piani, che per la loro bassa tara per posto seduto possono consentire di ottenere in modo più economico i vantaggi dei mezzi in lega leggera.

#### 4.2.2 Carico assiale

Le locomotive dei treni convenzionali, sulle quali viene concentrata tutta la potenza di trazione, hanno inevitabilmente un peso tanto più elevato quanto più lunghi sono i convogli da rimorchiare, con la conseguenza che il carico sugli assi delle locomotive risulta notevolmente superiore alla media. Agli effetti delle sollecitazioni sul binario, che sono determinanti nelle tecniche delle alte velocità, poco serve



che il carico assiale delle carrozze sia invece molto ridotto, poichè in sostanza è il carico dell'asse più pesante quello che determina il limite di velocità possibile.

Ciò detto, è facile comprendere come invece, con la suddivisione della potenza e del peso su tutti, od almeno su una gran parte degli assi delle automotrici, sia possibile ottenere su ogni asse un carico medio più basso delle punte prima indicate.

Di conseguenza per le altissime velocità (oltre 250 Km/h) la scelta delle automotrici è inevitabile, come provano, sia la realizzazione giapponese della rete ad alta velocità detta Skinkansen (di cui il famoso Tokaido costituisce il primo tronco), sulla quale non circolano locomotive (\*), mentre sono invece in servizio quasi duemila elettromotrici, sia il programma SNCF di utilizzare solo treni automotori sulla nuova direttissima Parigi-Sud Est, di cui è stata recentemente iniziata la costruzione.

Anche per servizi locali in cui le velocità sono di un altro ordine di grandezza, la limitazione del massimo carico assiale ha la sua importanza e consente sulle linee con armamento in condizioni non eccellenti di mantenere una velocità di esercizio alquanto superiore ai treni con locomotiva.

---

(\*) Poichè i treni giapponesi sono normalmente formati di 16 motrici di 1000 KW, occorrerebbero per trainare, altrettante carrozze almeno due locomotive di circa 10.000 KW continuativi, ciò che richiederebbe per ciascuna almeno sei assi di 23 - 24 t.

La nuova linea, che già con difficoltà ha sopportato le automotrici con carico di 15 t/asse, avrebbe con locomotive di questo peso richiesto una manutenzione di tale intensità e frequenza da rendere praticamente impossibile l'esercizio.



#### 4.2.3 Rapporto fra peso aderente e peso totale

Le due soluzioni si differenziano nettamente a questo riguardo. Nella grande maggioranza dei casi il rapporto fra peso aderente e peso totale è compreso fra  $1/1$  ed  $1/2$  per le automotrici, mentre scende a  $1/4$  +  $1/6$  per i treni con locomotiva. (\*)

La maggiore accelerazione, che in conseguenza di ciò possono sviluppare le automotrici durante l'avviamento, influisce sulla velocità media in misura tanto più importante quanto più alta è la potenza specifica installata e quanto più brevi sono i percorsi fra fermata e fermata. Per meglio evidenziare questa importantissima proprietà delle automotrici, si è rappresentato in figura 4.1 l'andamento della velocità media in un percorso di 3 e di 5 Km, con velocità massima di 100 e 120 Km/h e con potenza accelerante  $w$  compresa fra 4 e 10 KW/t e rapporti  $P_a/P_t$ , peso aderente/peso totale variabili fra  $1/1$  ed  $1/7$  (\*\*)

Si noti ad es. come, scendendo da 1 ad  $1/5$  col rapporto  $P_a/P_t$ , la perdita di velocità media è dell'8% con 4 KW/t, ma sale al 12% se la potenza accelerante è di 6 KW/t.

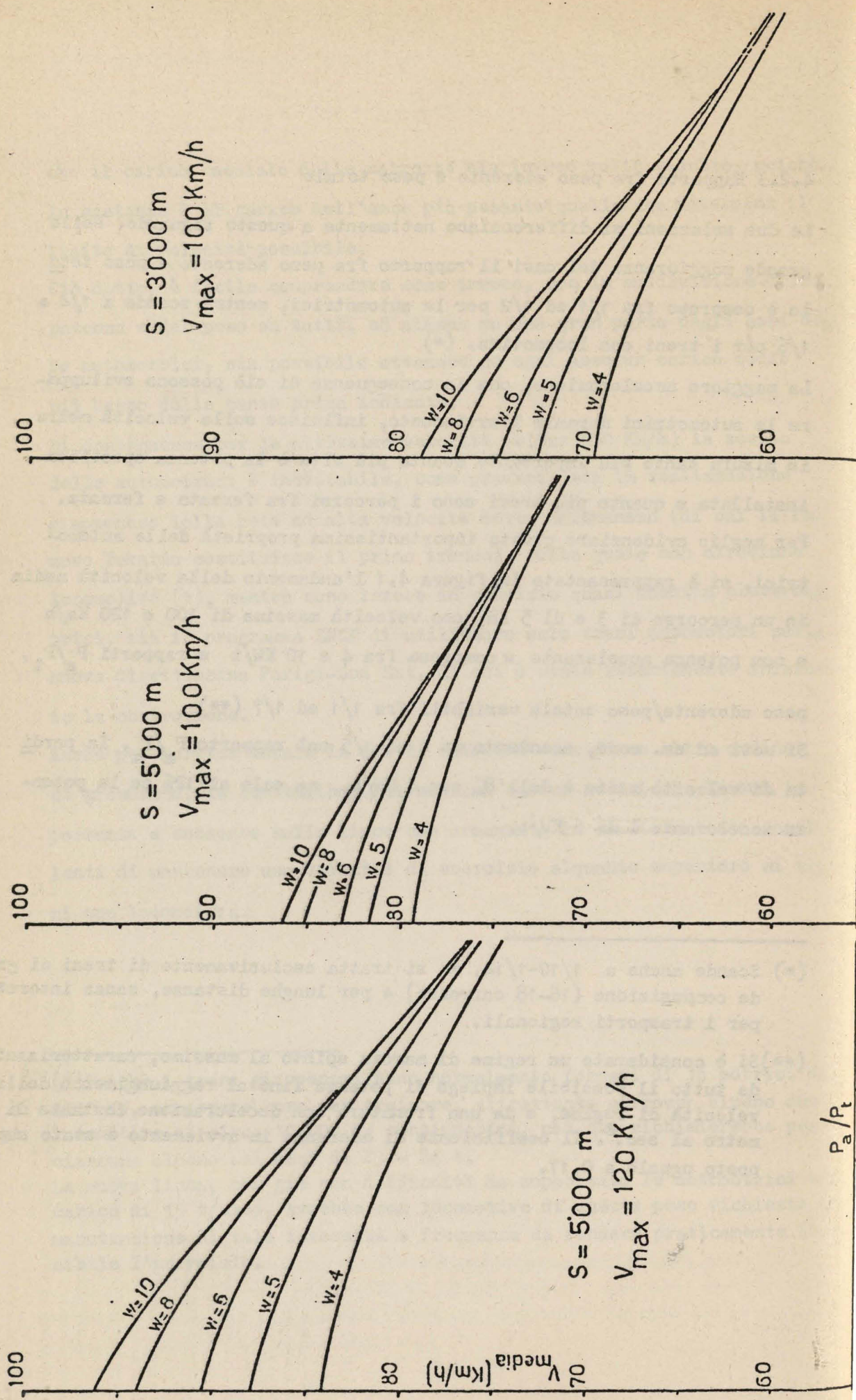
---

(\*) Scende anche a  $1/10$ - $1/12$ , ma si tratta esclusivamente di treni di grande composizione (16-18 carrozze) e per lunghe distanze, senza interesse per i trasporti regionali.

(\*\*) Si è considerato un regime di marcia spinto al massimo, caratterizzato da tutto il possibile impiego di potenza fino al raggiungimento della velocità di regime, e da una frenatura con decelerazione costante di 1 metro al sec.<sup>2</sup>. Il coefficiente di aderenza in avviamento è stato supposto uguale a 0,17.



FIG. 4.1





E' fondamentale osservare che per conseguire velocità medie elevate, p. es. 75 Km/h sulle distanze di 3000 m, è indispensabile un rapporto di aderenza non inferiore ad  $1/2$  indipendentemente dalla potenza installata. Con rapporto  $1/5$  p.es. non si possono superare praticamente i 67 Km/h di velocità media, anche portando la potenza ad oltre 10 Kw/t.

Si deve però tener conto che il confronto è stato fatto nell'ipotesi di coefficiente d'aderenza uguale nei due casi e pari a 0,17. In realtà, nel caso di impiego di locomotive, in particolare se di concezione moderna, si può sicuramente fare affidamento su un coefficiente d'aderenza dell'ordine di 0,20 - 0,25.

#### 4.2.4 Freni ed organi di aggancio

Per quanto riguarda queste parti è possibile, in qualsiasi momento, introdurre sul materiale automotore delle importanti innovazioni, che, per quanto già ampiamente e soddisfacentemente sperimentate, non possono trovare applicazione sui treni ordinari, fino a quando non sia stata trasformata la maggior parte dei rotabili in circolazione.

Da decenni si parla ad es. di freno elettropneumatico e di aggancio automatico, ma il problema immane di adattare centinaia di migliaia di veicoli rende, per il materiale ordinario, quanto mai incerta la realizzazione di questo provvedimento, la cui utilità è universalmente riconosciuta.

Con i treni automotori, per i quali non sussiste il vincolo della idoneità al servizio promiscuo con altro materiale, si è invece liberi di scegliere fra quanto di meglio viene offerto dal progresso della tecnica. Risulta così possibile adattare degli impianti freno che, pur nel rispetto di tutti i requisiti di sicurezza resi obbligatori dalle norme internazionali, sono in grado di agire con una prontezza (soprattutto in sfrenatura), una sensibilità ed una flessibilità di regolazione.



(p.es. nel passaggio dalla frenatura elettrica alla frenatura meccanica) sconosciute con il materiale corrente.

Per gli stessi ragionamenti l'uso degli agganci Scharfenberg, che consente di variare in pochi minuti la composizione di un convoglio, rimane per ora una esclusività delle automotrici.

Tuttavia, poichè si va sempre più affermando la specializzazione anche per i treni L + C e le carrozze a piano ribassato italiane ed a due piani francesi sono i primi esempi - l'impiego di sistemi di frenatura e di aggancio avanzati sarà possibile anche per questo tipo di treni.

#### 4.3 Considerazioni economiche

Le tre voci fondamentali sulle quali è impostato il confronto dei costi sono: il prezzo d'acquisto con i conseguenti oneri di interessi ed ammortamento, la manutenzione e riparazione, il consumo di energia; mentre le altre spese e soprattutto le spese generali sono legate più all'entità treno, che alle sue caratteristiche tecniche, e praticamente non variano con l'una o con l'altra soluzione.

##### 4.3.1 Prezzi del materiale rotabile

E' praticamente impossibile fornire indicazioni precise sui costi di produzione anche perchè su tali costi influiscono la numerosità dei prodotti finali su cui vanno ripartiti gli oneri della progettazione, la durata nel tempo delle commesse, i meccanismi di ripartizione della stessa fra le imprese ecc. ecc. Pertanto, i prezzi d'offerta del materiale rotabile si possono indicare solo in modo orientativo.

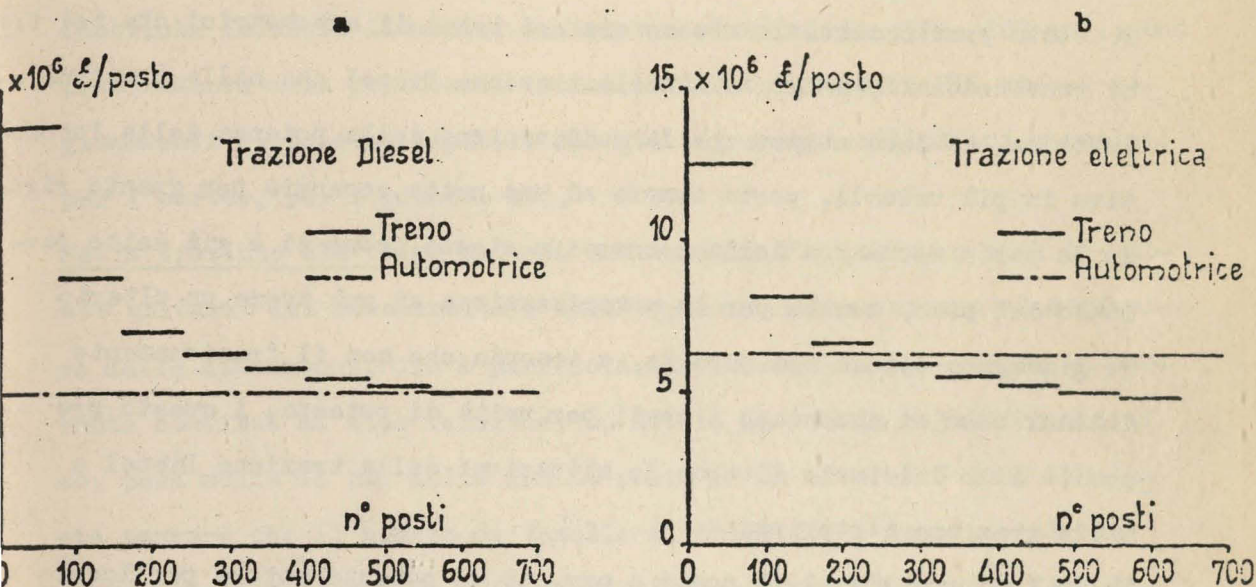
I prezzi infatti sono frutto di specifiche trattative, su cui influiscono molte circostanze particolari, variabili da paese a paese, da momento a momento e da contratto a contratto.

Sulla base della esperienza storica, si possono avanzare alcune considerazioni sulla struttura dei costi di produzione, e sulla forma ed andamento della curva rappresentativa di plausibili prezzi d'offerta.



Pur nella sua caratteristica "tendenziale," questa struttura è sintetizzata nei due grafici di fig. 4.2, dove sono indicati i prezzi di acquisto plausibili, espressi in milioni di lire/posto, in funzione del numero di posti, delle due soluzioni, treno di automotrici e treno convenzionale, rispettivamente per la trazione Diesel (fig. 4.2 a) e per la trazione elettrica (fig. 4.2 b).

FIG. 4.2



Dal grafico appare che:

- in trazione Diesel, il costo di produzione dell'automotrice è sempre minore di quello del treno, con una differenza che è massima per le composizioni a minore numero di posti e tende ad annullarsi quando si raggiungono i 500-600 posti
- in trazione elettrica, il costo di produzione della soluzione a potenza concentrata (treno) diventa inferiore a quello della soluzione a potenza ripartita (automotrice) a partire da circa 300 posti.



Inoltre, l'automotrice in trazione elettrica ha un costo, per posto offerto, maggiore del costo dell'equivalente automotrice in trazione Diesel.

Il treno in trazione elettrica ha costi inferiori, al crescere del numero dei posti, dell'equivalente treno in trazione Diesel.

Dunque, i costi di produzione dei due tipi di materiale rotabile si pongono in rapporti diversi nella trazione Diesel e nella trazione elettrica. Ciò può essere spiegato con le seguenti considerazioni.

Premesso che, a parità di posti offerti, la semplice vettura viaggiatori costa praticamente lo stesso sia nei treni di automotrici che nei treni convenzionali, e ciò sia nella trazione Diesel che nella trazione elettrica, si deve notare che la suddivisione della potenza della locomotiva in più veicoli, porta sempre ad una netta economia per quanto riguarda la parte meccanica della locomotiva stessa, come si è già detto parlando del peso, mentre per la motorizzazione si può avere un ulteriore guadagno, oppure una perdita, a seconda che con il frazionamento diminuiscono od aumentano i costi per unità di potenza. A questo proposito sono del tutto diverse le situazioni della trazione Diesel e della trazione elettrica.

Nella trazione Diesel il costo a cav. di un potente motore per locomotiva è notevolmente più alto del corrispondente costo di un motore per automotrice. Come ordine di grandezza p. es. un motore di 2000-2500 cav. costa non 10, ma almeno 20 volte più di un motore da 200-250 cav. per automotrice, soprattutto se questi ultimi sono stati tratti dalla produzione di serie, tipica del materiale di origine camionistica o trattoristica.

Ma anche per le trasmissioni e gli altri componenti meccanici si ritrovano analoghi rapporti di costo, valendo a questo proposito una legge generale della tecnologia meccanica, per la quale i costi unita



rii della lavorazione (costo a Kg, a cavallo, a unità di superficie lavorata, ecc.) aumentano fortemente con le dimensioni dei pezzi, dato che oltre ad un certo limite si rende necessario l'impiego di grandi e costosissime macchine utensili, delle quali soltanto le officine più importanti e qualificate possono disporre.

Ad es.: una trasmissione cardanica di 2000 cav. (quale quella che unisce il convertitore idraulico al carrello di una locomotiva Diesel) può essere costruita convenientemente da non più di una decina di fabbriche in tutto il mondo, mentre trasmissioni di 150 - 200 cav. sono praticamente alla portata di innumerevoli costruttori. Gli stessi ragionamenti si possono ripetere per gli ingranaggi cilindrici e conici, per i carter, per i giunti, ecc.

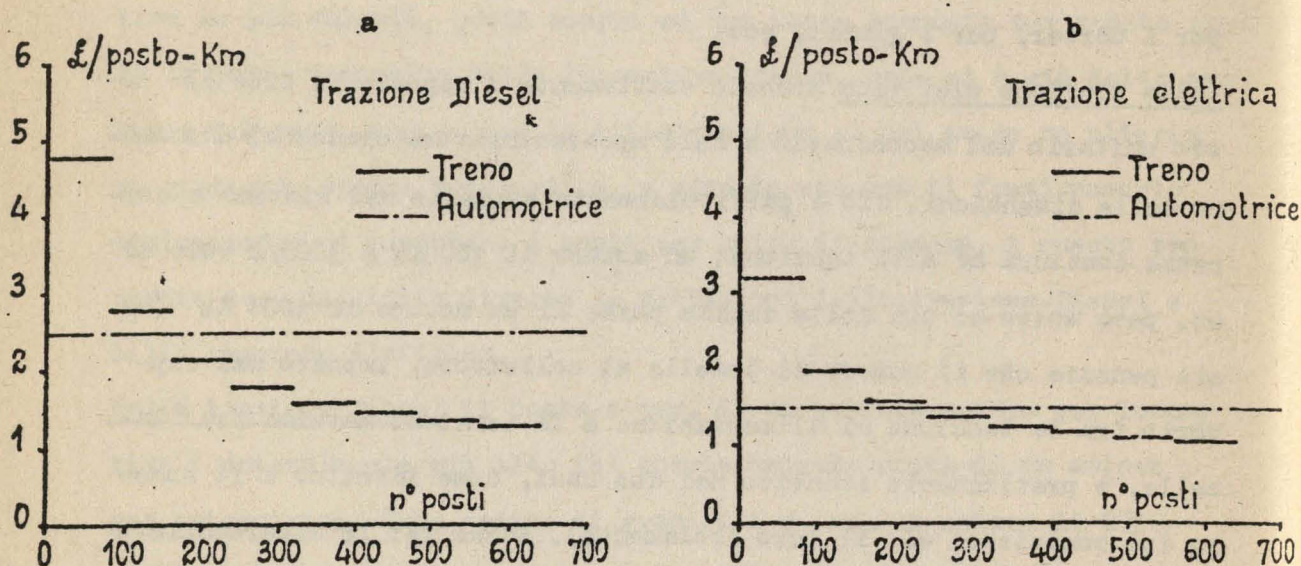
Nella trazione elettrica succede esattamente l'opposto, e cioè il costo unitario del macchinario e dell'apparecchiatura cresce al diminuire delle dimensioni. Ciò è particolarmente evidente nel sistema a corrente continua ad alta tensione; un motore di 100 KW a 3000/2 volt ad es. pesa molto di più della decima parte di un motore di 1000 KW (basta pensare che il numero di lamelle al collettore, imposto dal rapporto fra la tensione di alimentazione e la tensione massima fra lamelle, è praticamente identico nei due casi, come identico è il numero dei conduttori ed il loro isolamento). Anche per le apparecchiature di regolazione e di controllo (interruttori vari, inversori, shunts, ecc.) le dimensioni sono dettate più dalla tensione che dalla potenza, per cui il moltiplicarsi dei dispositivi non può che aumentare il costo complessivo.



#### 4.3.2 Costo di manutenzione e riparazione

Nel grafico di fig. 4.3 si è cercato di illustrare, sempre sotto forma di tendenza e di struttura, la variabilità di questi costi, espressi in lire per posto-Km, in funzione del numero di posti, per i due tipi di rotabili in esame, treno automotore e treno convenzionale, nel campo della trazione Diesel (fig. 4.3. a) e della trazione elettrica (fig. 4.3. b).

FIG. 4.3



Dal grafico appare che, sia in trazione Diesel che in trazione elettrica, il costo di manutenzione del treno convenzionale diventa inferiore a quello del treno di automotrici a partire da 200 - 300 posti.

Questo andamento dei costi può essere spiegato con le seguenti considerazioni.



Come è noto, la spesa per manutenzione e riparazione si suddivide in circa metà e metà fra materiale e lavoro.

Per i materiali, costituiti in gran parte da pezzi di ricambio, valgono le considerazioni già fatte per il prezzo d'acquisto, in base, alle quali risulta favorita la locomotiva nella trazione elettrica e l'automotrice nella trazione Diesel. (\*)

Per il costo del lavoro invece il confronto è sempre a favore della potenza concentrata.

Il tempo impiegato per la "visita" del rotabile, operazione fondamentale della manutenzione corrente, è praticamente proporzionale al numero degli apparecchi ispezionati e controllati e non certo alla loro potenza. Va tenuto presente inoltre che l'accessibilità agli apparecchi stessi è molto migliore in una locomotiva che non in un treno di automotrici, dove sono sistemati sotto pavimento e distribuiti su una lunghezza dell'ordine di un centinaio di metri.

Per la manutenzione corrente le automotrici risulteranno dunque nettamente sfavorite; ma, anche per quanto riguarda le riparazioni cicliche, il maggior numero di rotabili da introdurre in officina aumenta i costi e le difficoltà di spazio. Lo smontaggio e rimontaggio del macchinario da una locomotiva viene fatto rapidamente utilizzando le gru a ponte di cui tutti gli impianti sono dotati. Per i motori ed i gruppi meccanici delle automotrici si deve operare con sollevatori in fossa o con carrelli elevatori, con notevole maggior perdita di tempo, anche per la necessità di frequenti spostamenti dei rotabili.

---

(\*) Il solo ricambio di una biella madre e figlia con i relativi cusci netti di un grande motore a V di 250 - 280 cav. per cilindro equivale circa al costo di un motore completo per automotrice.



I vantaggi delle lavorazioni in serie per i motori di origine camionistica, non valgono per la riparazione, che mantiene sempre una caratteristica artigianale e sfugge ad una organizzazione ripetitiva, date le necessità diverse che si presentano da caso a caso.

#### 4.3.3 Consumo di energia o di combustibile

Questa spesa non differisce molto nelle due soluzioni  $M + R$  e  $L + C$ :

- è praticamente identica nella trazione diesel in quanto alla minor magsa da trasportare ed alla minor resistenza aerodinamica fa riscontro per le automotrici un più elevato consumo specifico, in conseguenza del frazionamento in molti motori della potenza di trazione
- può essere valutata, nel caso della trazione elettrica, in circa il 10-20% in più con la soluzione  $L + C$ , soprattutto a causa del maggior peso del convoglio.

#### 4.4 Considerazioni commerciali

Il successo delle automotrici negli anni trenta era in parte legato all'immagine di progresso che esse portavano nel campo dei trasporti su rotaia; come già detto il nuovo mezzo esercitò ovunque una notevole "attrazione" verso gli incerti viaggiatori di quell'epoca.

Se i miglioramenti d'orario e la maggiore frequenza delle comunicazioni erano la causa principale, anche l'estetica e la modernità del materiale davano il loro contributo.

Oggi queste motivazioni hanno perso importanza, tanto più che alcuni tipi di moderne carrozze nulla hanno da invidiare alle automotrici per quanto riguarda aspetto estetico esteriore ed eleganza di arredamento.



Per il confort poi la situazione si rovescia rispetto al passato.

Il requisito, oggi particolarmente apprezzato, della assenza di vibrazioni e di una silenziosità molto spinta (livelli sonori intorno a 62-65 dBA) si consegue più facilmente quando non ci sono a bordo sorgenti di rumori e di trepidazioni come motori, trasmissioni, ventilatori, ecc.

#### 4.5 Considerazioni di esercizio

Anche in questo caso è azzardato generalizzare i comportamenti, in corso di esercizio, delle automotrici e del materiale convenzionale. Gli effetti dell'impiego di materiali rotabili diversi dipendono, oltre che dalle caratteristiche tecniche dei rotabili, anche dalle condizioni d'impiego (livelli di servizio che si vogliono offrire, carico sulle linee, distribuzione della domanda lungo la linea servita ecc. ecc.). Nelle condizioni d'esercizio delle linee ferroviarie italiane, soprattutto in corrispondenza delle grandi aree metropolitane in cui la necessità del trasporto dei pendolari ricorre con maggiore frequenza, è convinzione diffusa che l'impiego di automotrici crei problemi di esercizio in misura accresciuta rispetto al materiale convenzionale, purchè questo sia un materiale specializzato ideato per questo tipo di servizio ed impiegato in modo appropriato.

La necessità della specializzazione del materiale rotabile convenzionale, rispetto all'impiego di automotrici, si accentua allorché i servizi suburbani rappresentino, per esigenze locali o per politiche aziendali, una parte considerevole del movimento. In questi casi è necessario per avere un confronto significativo che, come le automotrici, anche i treni L + C siano specializzati per servizi suburbani (\*).

---

(\*) e quindi non utilizzabili promiscuamente con le altre vetture viaggiatori.



In questo tipo di servizi, infatti, per poter considerare equivalenti, e quindi confrontabili, dal punto di vista dell'esercizio automotrici e materiale rimorchiato, occorre che quest'ultimo almeno disponga della manovra automatica delle porte e sia bidirezionale.

Dell'importanza dei tempi di sosta in stazione ai fini della velocità commerciale si è già parlato nel cap. 2: l'apertura e chiusura automatica delle porte, oltre a diminuire l'impegno del personale di scorta, riduce i tempi di sosta di 10 + 20 secondi, in relazione alla lunghezza del treno, e quindi influisce apprezzabilmente sui tempi di viaggio.

Notevole importanza riveste anche la bidirezionalità, che si ritrova in quasi tutte le automotrici e che, nel materiale ordinario, si realizza con apposite vetture semi-pilota dotate di cabine di guida e sistemate dalla parte opposta del locomotore.

La bidirezionalità consente di invertire la marcia senza bisogno di manovre, con una riduzione dei tempi morti nelle stazioni termine di corsa pari a circa il 70%. Nelle stazioni di testa, con treni bidirezionali è quindi possibile liberare il binario dopo pochi minuti dall'arrivo senza alcuna manovra e senza alcuna operazione accessoria. Ciò è di particolare importanza nelle ore di punta dei traffici pendolari, quando i terminali urbani sono impegnati al limite della potenzialità: da uno studio condotto per il nodo di Milano è risultato che con l'uso di materiali bidirezionali, facendo ripartire i treni subito dopo l'arrivo, è possibile aumentare nell'ora di punta la ricettività di una stazione di testa di circa il 25%.

Si tratta di una possibilità di notevole interesse che trova già qualche attuazione all'estero (Zurigo, Bruxelles), anche se può comportare la effettuazione di treni scarsamente utilizzati in partenza.



Ciò premesso, nel confrontare i problemi di esercizio delle automotrici e quindi dei treni convenzionali specializzati, valgono le seguenti considerazioni:

- a) Il treno convenzionale ha una maggiore flessibilità di impiego, giacchè è molto più facile aggiungere una vettura o sostituire un locomotore di tipo "standard" rispetto ad un'automotrice di 3 o 4 elementi praticamente inseparabili. E' quindi possibile contare su una certa maggiore affidabilità dei complessi locomotore-carrozze, contenere la necessità di scorte e seguire, entro certi limiti, le variazioni di utilizzazione.
- b) Per quanto riguarda la circolazione, va ricordato che una automotrice isolata impegna linee ed impianti quanto un lungo treno con capacità di trasporto superiore. Sulle linee che si approssimano alle condizioni di saturazione le automotrici vengono perciò ammesse soltanto in composizioni importanti. D'altro canto, l'ipotesi di impiegare l'automotrice in composizioni importanti può presentarsi in contrasto costi di acquisto del materiale rotabile e di esercizio.

In alcuni casi peraltro le automotrici consentono l'accoppiamento di materiali diretti o provenienti da linee diverse effettuando un solo treno lungo il tratto comune con perditempi ridottissimi (1 o 2 minuti).

Inoltre sotto un altro punto di vista è più favorevole l'esercizio dei treni automotori. Si tratta del fatto che restando costante il rapporto potenza/peso, indipendentemente dalla composizione del convoglio, non si hanno riduzioni di prestazioni nei periodi di punta. Si può perciò predisporre un orario relativamente "stretto" con la certezza di poterlo sempre mantenere.



Per i treni ordinari invece l'aggiunta di qualche carrozza rispetto alla composizione normale provoca un aumento dei tempi di percorrenza ed occorre tenerne conto, o calcolando l'orario per la composizione meno favorevole, oppure impiegando locomotive di potenza maggiore, che nelle normali circostanze vengono sottoutilizzate in rapporto alla loro capacità.

- c) Infine, mentre le carrozze sono assegnate alle stazioni e rimangono sui piazzali anche per le operazioni di pulizia e di piccola manutenzione, le automotrici sono in forza ai depositi e devono essere seguite con una serie di documenti (libretti di servizio, conteggio dei chilometri, scadenza di riparazioni, ecc.). Anche il dover portare con una certa frequenza le automotrici in deposito per la revisione di turno, implica manovre ed attese, ed impegna binari e fosse di ispezione in un tipo di impianto che di norma non ha abbondanza di spazio.



## 4.6 Conclusioni

Cercando di estrarre una indicazione concreta dalle considerazioni fatte, si possono individuare tre fasce di convenienza.

### 4.6.1 Prima fascia: convenienza assoluta per le automotrici

- 1) Quando la domanda di trasporto è così scarsa da poter essere soddisfatta con uno o due veicoli.
- 2) Nei servizi locali con frequenti fermate, quando viene data la massima importanza alla riduzione dei tempi di viaggio.
- 3) Nei servizi ad altissima velocità, per i quali è essenziale mantenere in limiti molto bassi le sollecitazioni al binario.

### 4.6.2 Seconda fascia: convenienza assoluta per i treni convenzionali

- 1) Treni diretti caratterizzati da velocità non particolarmente elevata, poche fermate e composizione di almeno sei, sette carrozze.
- 2) Quando la esigenza di domanda o di circolazione rendono necessaria l'effettuazione di treni di notevole composizione.
- 3) Treni internazionali, che richiedono il cambio di trazione al passaggio della frontiera (\*).

---

(\*) L'esigenza del cambio di trazione potrà essere ridotta con lo sviluppo dei locomotori bicorrente.



#### 4.6.3 Terza fascia: convenienza incerta fra i due sistemi

In essa sono compresi tutti i servizi locali, con frequenti fermate, e con composizione un po' importante (da tre-quattro veicoli in su), quando l'esigenza di ridurre i tempi di viaggio non è considerata prevalente rispetto al problema economico.

In questi casi si tratta essenzialmente di stabilire, sulla base dei ragionamenti sopra svolti, qual è il numero di veicoli oltre il quale non è più conveniente la composizione di automotrici, tenendo conto che, come si è visto, esso è nettamente più basso per la trazione elettrica a c.c. 3000 volt che non per la trazione Diesel.

\* \* \*

Le conclusioni cui si giunge sulla base delle considerazioni precedenti sono abbastanza nette nel caso della trazione Diesel.

Sulle linee non elettrificate infatti i valori di domanda sono quasi sempre piuttosto contenuti, per cui il fabbisogno di posti difficilmente supera le 150 - 200 unità (\*): con queste dimensioni la soluzione automotrice si lascia nettamente preferire.

Nel caso della trazione elettrica invece le conclusioni possono essere spesso influenzate da particolari situazioni contingenti; ad es., quando non è disponibile un tipo di locomotiva di dimensioni adatte, la soluzione automotrici può risultare favorita dalla opportunità di non impiegare una locomotiva di potenza esuberante, con sovradimensionamento dal punto di vista energetico e con aumento della spesa di manutenzione.

---

(\*) Sulle linee non elettrificate del Piemonte è rarissimo che vengano superate punte di domanda di 200 viaggiatori; vedasi a questo proposito "Sistema ferroviario regionale - Assetto delle linee per le comunicazioni tra i poli comprensoriali - All. B: Flussi di traffico viaggiatori



Per quanto attiene alla situazione italiana, le locomotive E 626 ed E 636, che avrebbero la potenza appropriata per questo servizio (circa 2000 KW), hanno un'origine che risale rispettivamente a 40 e 30 anni or sono. D'altro canto la più moderna E 646 ha una potenza molto elevata (3780 KW), certamente non ottimale perchè esuberante per i servizi vicinali.

Pertanto, con riferimento ai problemi del traffico e di esercizio caratteristici dei servizi pendolari, è stata avanzata la tesi che il problema vada risolto lavorando attorno ad una versione "moderna" successiva, come generazione, alle terne e quaterne di elettromotrici ALe 803 con rimorchi Le 803 ed alle quaterne ALe 801/940 con rimorchi Le 108; altri, invece, hanno sostenuto la necessità di impiegare le carrozze vicinali a piano ribassato trainate da locomotive E 646 modificate in modo da poter essere comandate a distanza dalla carrozza semipilotata.

Sembra ragionevole, a tale riguardo, ritenere che un materiale suburbano, sempre rimanendo nel caso della trazione elettrica, per rispondere alle necessità dell'impiego debba soddisfare le seguenti esigenze:

- a) - avere una flessibilità di composizione tale da poter offrire un numero di posti variabili da un minimo di circa 400 fino ad un massimo di 1200 + 1300;
- b) - potenza installata massima non superiore a 4000 + 5000 KW per le elevate composizioni;
- c) - essere soluzione economica sia per acquisto sia per manutenzione
- d) - massa per posto offerto più ridotta possibile per garantire
  - le migliori prestazioni con composizioni elevate
  - il minor consumo energetico in generale;
- e) - non essendovi, sui tracciati delle F S, problemi di sagoma limitate, possono essere favorevolmente impiegate casse lunghe.



Si ritiene che il punto di arrivo di questa tendenza possa essere costituito da un treno, per il quale non esiste un corrispondente operante, specializzato per questi servizi, e composto da locomotiva e materiale rimorchiato, nel quale si trovino riuniti, i vantaggi in termini di prestazioni, attribuibili ai treni di automotrici, ed i vantaggi in termini di costi, attribuibili ai treni convenzionali. Un tale tipo di treno potrebbe convenientemente occupare quella terza fascia - la più frequente - che al momento non si può che definire di convenienza incerta fra le due soluzioni.

Il profilo delle caratteristiche tecniche principali di questo nuovo treno potrebbe essere il seguente:

- potenza della locomotiva dell'ordine dei 2500 KW, in modo che l'eventuale accoppiamento di due locomotive, in casi di necessità, non superi il limite (5000 KW) di potenza derivabile dalla linea di contatto
- locomotiva equipaggiata con alimentatore statico, per i vantaggi che questo apparato consente (vedere § 2.11), in particolare nell'aderenza
- locomotiva con una sola cabina di guida, venendo a mancare l'esigenza della seconda cabina, sostituita dalla cabina della vettura semipilotata, in coda al convoglio
- locomotiva dotata di intercomunicanti con il materiale rimorchiato, per consentire il movimento del personale di macchina
- bidirezionalità del convoglio, assicurata dalla vettura semipilotata, in modo da ridurre i tempi morti nelle stazioni di testa e da favorire l'impiego del treno anche nei servizi suburbani ad elevata frequenza
- apertura e chiusura automatica delle porte, in modo da ridurre i tempi di sosta nelle stazioni intermedie e l'impiego di personale di scorta



- vetture con aggancio automatico, onde consentire rapide ed agevoli variazioni di composizione e l'impiego di tecnologie avanzate, in particolare per gli impianti frenanti
- vetture caratterizzate da:
  - leggerezza (basso valore della tara per passeggero)
  - lunghezza di circa 25 m
  - n° 2 porte per fiancata, di luce di circa 1300 mm
  - altezza ridotta del pavimento sul piano del ferro
  - circa 100 posti a sedere
  - semplicità (alimentazione dei servizi ausiliari da convertitore unico sulla vettura semipilota)
- composizione base di circa 400 posti a sedere, ottenibile ad esempio nella composizione standard  $L + 3R + S_{(*)}$

\* \* \*

Può essere utile confrontare alcune caratteristiche dei treni di vecchia (ALe 940) e nuova (GAI: ALe 804) impostazione, e le caratteristiche di potenza e di numero di posti che costituiscono l'obiettivo del progetto di treno al quale si è accennato.

Il confronto è effettuato sia con i treni a vuoto (tab. 4.1), sia con i treni carichi (tab. 4.2) (\*\*).

Naturalmente le caratteristiche riportate nelle tabelle sono effettive per il treno ALe 940, di progetto per il treno ALe 804, mentre per il treno L+C proposto, si sono inseriti i parametri di progetto che si ritiene rappresentino

---

(\*) Qualora si adottassero vetture del tipo delle due piani francesi, con la stessa composizione base il numero di posti offerti sarebbe, naturalmente, superiore (circa 600 nell'ipotesi di 5 sedili per fila, 3 + 2, e circa 500 nell'ipotesi di 4 sedili per fila, 2 + 2).

(\*\*) Per i treni carichi si è assunta l'ipotesi che, il coefficiente d'occupazione sia pari a 1,15 e che la massa del viaggiatore sia di 75 Kg.



il livello ottimale, dal punto di vista delle prestazioni, al quale il materiale dovrebbe tendere.

I valori delle grandezze specifiche che ne derivano dovrebbero perciò derivare dallo sviluppo progettuale ed iscriversi entro una fascia compatibile con i vari valori "fisici" delle caratteristiche presenti in veicoli già sperimentati, o in via di realizzazione.

Per quanto riguarda infine l'aspetto economico, e soprattutto il prezzo di acquisto, nulla può dirsi di preciso, oltre le brevi e generiche considerazioni di cui al § 4.3.1. Senza un piano generale di investimenti, che involga una ragionevole previsione poliennale di acquisti, e che a monte abbia quindi un piano nazionale per i trasporti dei pendolari, difficilmente si potrà fissare un prezzo d'acquisto attendibile.

I valori "storici" da noi citati al § 4.3.1 rappresentano però un orientamento per il programmatore ed il progettista, nel senso che identificano i limiti entro i quali, a parità delle altre condizioni aventi rilevanza dal punto di vista dell'economia della prestazione, questo materiale dovrebbe essere acquistato. In ogni caso essi costituiscono un riferimento perchè il confronto tra i tipi esistenti e quelli possibili sia significativo.



TAB. 4.1 CONFRONTO TRA CONVOGLI M+R E L+C SPECIALIZZATI PER SERVIZI SUBURBANI: TRENI A VUOTO

TRENO	COMPOSIZIONE	POTENZA CONTINUATIVA	MASSA A VUOTO			MASSA ADERENTE	NUMERO POSTI	POTENZA PER UNITA' DI MASSA	TARA PER POSTO	POTENZA PER POSTO	
			motrice		rimorch						totale compos.
			t	t							
Al 940 + Le 108	M + R + R + M	1740	70	39	218	64	404	7,98	540	4,3	
GAI Al 804 + Le 884	M + R + R + M	1760	53	29	164	65	336	10,73	488	5,23	

L + C suburbano (*)	L + 3C + S	2500	72 + 78	34 + 34	208 + 222	55	400	10,02 + 11,26	520 + 555	6,25
------------------------	------------	------	---------	---------	-----------	----	-----	---------------	-----------	------

(\*) I valori minimi e massimi indicati per il peso della locomotiva e della carrozza naturalmente sono orientativi.







TAB. 4.2 CONFRONTO TRA CONVOGLI M+R E L+C SPECIALIZZATI PER SERVIZI SUBURBANI: TRENI A CARICO

(coefficiente d'occupazione = 1,15)

TRENO	COMPOSIZIONE	POTENZA CONTINUATIVA kW	MASSA A CARICO			MASSA ADERENTE %	NUMERO VIAGGIATORI n	POTENZA PER UNITA' DI MASSA kW/t	MASSA PER VIAGGIATORE kg	POTENZA PER VIAGGIATORE kW
			motrice	rimorch	totale compos.					
			t	t	t					
Ale 940 + Le 108	M + R + R + M	1740	78	48	252	62	465	6,90	542	3,74
GAI Ale 804 + Le 884	M + R + R + M	1760	60	36,5	193	62	386	9,12	500	4,56
L + C suburbano (*)	L + 3C + S	2500	72 + 78	425 + 44,5	242 + 256	30	460	10,33 + 9,76	526 + 556	5,43

(\*) Vedasi nota in tab. 4.1







Allegato A

Caratteristiche generali dei rotabili esaminati



PROPRIETÀ DEL MATERIALE AUTOMOTORE ELETTRICO

	1° TIPO				2° TIPO						3° TIPO	
	SBB	DB		BR	SBB	OBB	SNCF		FS		SNCB	
	RAE 12/12	ET 420	ET 472	313	RAE 8/16	ET 4030	Z 6400	Z 5300	Alc 801-940	G.A.I.	06	08
1. sistema di alimentazione	15 kV 16 2/3 Hz mono	15 kV 16 2/3 Hz mono	1.2 kV c.c. - terza rotaia	750 V c.c. - 20 kV VLF	15 kV 16 2/3 Hz mono	15 kV 16 2/3 Hz mono	25 kV 50 Hz	1.5 kV	3 kV c.c.	3 kV c.c.	3 kV c.c.	3 kV c.c.
2. tipo di impiego												
2.1 lunghezza media dei servizi effettuati	km 36	/	/	~ 33.6	36	50	30	55	~ 90	/	25 ÷ 340	50 ÷ 340
2.2 distanza media tra le fermate	km 2.5	2.7	1.5	~ 2.2	2.5	2.5	2.5	2.5	~ 3	/	3 ÷ 25	25
3. composizione e dimensioni - Organi di accoppiamento												
3.1 composizione base	M + R + M	M + R + M	M + R + M	M + R + M	M + R + R + M	M + R + R	M + R + R + M	M + R + R + R	M + R + R + M	M + R + R + M	M + M	R + M + M +
3.2 composizioni possibili	/	NO	NO	NO	M + R + M	M + R + R + R	2 composiz. base	2 composiz. base	/	/	/	/
3.3 composizione massima in comando multiplo	4 composiz. base	3	3	4 su linea (di max 2 per vincolo piatt. stag.)	4 composizioni base	doppia compos. base	2 composiz. base	2 composiz. base	2 composiz. base	3 composiz. base	5 composiz. base	3 composizioni
3.4 ripartizione dell'equipaggiamento di trazione												
3.4.1 su un solo rotabile (motrice)	NO	NO	NO	NO	NO	SI	NO	SI	NO	NO	NO	NO
3.4.2 su più rotabili accoppiati	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI	NO	SI	SI	SI - un asse motore su ciascun carrello	SI
4.5 lunghezza delle diverse unità costituenti la composizione base	mm 24375 - 24550 - 24375	23300 - 20300 - 23300	23015 - 19490 - 23015	19300 - 19920 - 19800	25000	23535 - 22990 - 23535	23075 - 23140 - 23140 - 23075	25925 - 25050 - 25050 - 25350	26215 - 26110 - 26110 - 26215	26150 - 24400 - 24400 - 26150	22849 - 22970	24750 - 23690 - 23690 - 24750
4.6 interperno delle diverse unità costituenti la composizione base	mm 17600	16500 - 14000 - 16500	16190 - 12590 - 16190	14170 - 14170 - 14170	18450 - 13700 - 18700 18450	16250	15600 - 15790 - 15790 - 15600	18100	19000	17500	16400	17300
4.7 passo dei carrelli delle diverse unità costituenti la composizione base	mm 2600	2500	2500	2600	2500 - 2350 - 2350 - 2500	2700 - 2500 - 2500	motori 2400; portanti 2300	motori 2200; portanti 1670	3000	2560	2500	motori 2670; portanti 2500
4.8 sezione limite rispettata	/	/	/	/	/	UTC 505 V	UTC 505	UTC 505	UTC 550	UTC 550	SNCB	SNCB
4.9 altezza del pavimento sul p.d.f.	mm 1025	1030	1120	1156	1060	1150	1190	950	1355	1150	1255	1265
4.10 altezza massima interna	mm /	/	/	2205	/	2600	2340	2400	/	/	2380	2235
5.1 ubicazione delle cabine di guida	a ciascuna estremità composizione base	a ciascuna estremità composizione base	a ciascuna estremità composizione base	a ciascuna estremità composizione base	a ciascuna estremità composizione base	motrice e pilota	a ciascuna estremità composizione base	a ciascuna estremità composizione base	a ciascuna estremità composizione base	a ciascuna estremità composizione base	a ciascuna estremità composizione base	a ciascuna estremità composizione base
6.12 organi di accoppiamento	automatico Scharfenberg	/	automatico Scharfenberg	automatico Tightlock	Automatico Scharfenberg	automatico	automatico Scharfenberg	automatico Scharfenberg	automatico Scharfenberg	automatico Scharfenberg	semiautomatico	semiautomatico
3.12.1 alle estremità della composizione base	automatico	/	/	barra di trazione	automatico	a molla	barra di trazione	barra di trazione	tenditore + aste	aste tipo Scharfenberg	gancio + tenditore a vite	gancio + tenditore a vite
3.12.2 fra le vetture intermedie	automatico	/	/	barra di trazione	automatico	a molla	barra di trazione	barra di trazione	tenditore + aste	aste tipo Scharfenberg	gancio + tenditore a vite	gancio + tenditore a vite
7.1 pesi a vuoto delle diverse unità costituenti la composizione base	t 57 - 56 - 57	peso a vuoto 138 (composiz. base)	40 - 34 - 40	36 - 31.5 - 31.5	49.5 - 25 - 25 - 49.5	60.8 - 32.0 - 34.5	62.6 - 30.8 - 30.8 - 62.6	61.5 - 30 - 30 - 32	70 - 39 - 39 - 70	53 - 29 - 29 - 53	53 - 54	51 - 60 - 60 -
7.2 carichi massimi ammessi in casi eccezionali sulle diverse unità costituenti la composizione base	t /	peso a pieno carico 153 (composiz. base)	peso a pieno carico 166 (composiz. base)	/	8	13.5 - 14.0 - 12.5	22.2 - 22.5 - 22.5 - 22.2	23.7 - 25 - 25 - 25	~ 18	/	14	11 - 14.5 - 15



	1° TIPO			2° TIPO								3° TIPO	
	SBB	DB		RR	SBB	RR	RUP		FS	SNGR			
	RARDe 12/12	ET 420	ET 472	313	RARDe 8/16	ET 4030	Z 6400	Z 5300	Ma 804 - 884	G.A.T.	OG	OG	
ello	Elettropneumatico	/	/	reostatico - dinamico	reostatico-pneumatico	Cerlikon CT - F	elettrico (motrici pneumatiche)	reostatico (motrici pneumatiche)	11 volt freni (motrici pneumatiche)	elettropneumatico	Cerlikon EP 1	Cerlikon EP 1	
inetti di comando	Cerlikon	/	/	/	Cerlikon	FV 3 F	PRA	/	Cerlikon	tipo motore rotatorio	Cerlikon FVEL 5	Cerlikon FVEL 5	
e tipo di distributori	/	/	/	/	/	Est 30 E/T3	JNR	/	(motrici, 11 volt, ecc.) - Cerlikon	tipo motore rotatorio	Cerlikon Est 44/43E	Cerlikon Est 44/43E	
oni alla composizione base (v. cap. 2, § 8)													
a della cassa	/	acciaio (casse estremità), lega leggera (cassa intermedia)	lega leggera	telaio in acciaio; rivestim. in allum.	lega leggera	acciaio 37 con riv. in lamiera sottile	acciai INO e CONTEX	acciai INO e al carbo	acciaio Fe42-Fe44c	lega leggera	acciai AE 235 C e AE 235 Cu (*)		
eriale impiegato	/	/	/	150	/	/	/	compressione 200	compressione 150-fiche UTC 625-7	compressione 150-fiche UTC 625-7	compressione 150 - trazione 100		
ri di trazione e compressione per cui la struttura dimensionata	/	/	/										
te d'accesso	3; all'estremità e centrale	4	4 - 3 - 4	2(1/3 e 2/3 fiancata)	2(1/3 e 2/3 fiancata)	2(1/3 e 2/3 fiancata)	3	3	2(1/3 e 2/3 fiancata)	3(Ala 644 - Le 724); 2(Ala 804 - Le 884)	2(1/5 e 4/5 fiancata)	2(1/3 e 2/3 fiancata)	
1 n° per fiancata e posizionamento													
2 tipo della porta (a battente, a libro, scorrevole, ecc.)	a libro	scorrevole	scorrevole	scorrevole	scorrevole	scorrevole	scorrevole	scorrevole	scorrevole	scorrevole	a libro	scorrevole	
3 tipo di comando e dispositivi di sicurezza appl.	pneumatico	pneumatico	pneumatico	pneumatico	elettropneumatico	pneumatico	pneumatico	/	/	pneumatico	elettropneumatico	elettropneumatico	
4 luce effettiva mm	620 (estremità) - 620x2 (centrale)	1000	1300	1510	1600	1200	1300	1300	1030	1300	1240	1158	
te intercomunicanti	scorrevole	NO	NO	a battente	scorrevole	a battente	a battente	a battente	scorrevole	scorrevole	scorrevole	scorrevole	
1 tipo per le testate intermedie													
2 tipo per testate di estremità della composizione	NO	NO	NO	NO(solo emergenza)	NO	NO	NO	NO	a battente	NO	a battente	NO	
3 luce effettiva mm	~ 600	NO	NO	~ 900	600	700 - NO	~ 700 - NO	~ 600 - NO	/	/	736 - 580	848 - NO	
te interne	4; scorrevole e a battente	1; a battente; 540 mm	NO	NO	1; a battente; 592 mm	4; scorrevole - 700 mm	NO	2 - 1; scorrevole	4; scorrevole	4 - 6; scorrevole	5; a battente	4; scorrevole	
1 n°, tipo e dimensioni													
unicanti	rulli di gomma	NO	NO	tubolare	rulli di gomma	rulli di gomma	rulli di gomma	rulli di gomma	tubolare	rulli di gomma	classico, fisso ad ogni testata	classico, fisso ad ogni testata	
o per le testate intermedie	NO	NO	NO	NO(solo emergenza)	NO	NO	NO	NO	a mantici	NO	classico, rientrabile	NO	
o per le testate di estremità della composizione													
di accesso													
e altezza sul p.d.f.	2	NO	NO	NO	3; 535 - 710 - 835 mm sul p.d.f.	2; 600 e 875 mm sul p.d.f.	NO	1; 650	2	varie soluzioni possibili	2; 647 e 977 mm sul p.d.f.	2; 652 e 982 mm sul p.d.f.	
o di azionamento di eventuali gradini rientrabili	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	pneumatico	NO	NO	

(\*) Indice di qualità C - buona attitudine alla saldatura.  
Indice di qualità Cu - aggiunta di 0.25 ÷ 0.40% di rame.



i ausiliari

Riscaldamento

Condizionamento estivo e/o invernale

Illuminazione

Interfono

Produzione di energia per i servizi

Produzione di aria compressa

Caratteristiche delle motrici

Rodiggio

Potenza continuativa

Potenza oraria

Sistema di regolazione dell'alimentazione dei motori

Motori di trazione

12.5.1 modello

12.5.2 caratteristiche

12.5.3 sospensioni

12.5.4 rapporto di trasmissione tra motori ed assi

12.5.5 peso del singolo motore

Carrelli motori

12.6.1 peso

12.6.2 diametro delle ruote

12.6.3 peso della sala montata

12.6.4 tipo di sospensione primaria

12.6.5 tipo di sospensione secondaria

12.6.6 tipo di acciaio impiegato per il telaio

12.6.7 dispositivi eventuali di livello cassa costante

12.6.8 organi frenanti e loro sistemazione

1° TIPO			2° TIPO									3° TIPO	
SBB	DB		BR	SBB	ORB	SNCF		FS		SNCF			
RAPDe 12/12	ET 420	ET 472	313	RAPDe 8/16	ET 4030	Z 6400	Z 5300	Ala 801-940	G.A.I.	06	08		
termoventilazione	/	termoventilazione	termoventilazione	termoventilazione	aste radianti 1000 V 16 2/3 Hz	termoventilazione	radiatori elettrici	termoventilazione + scaldiglie a pavim.	termoventilazione	radiatori elettrici sotto i sedili	termoventilazione a 3 regimi		
/	/	/	NO	ventilazione estiva	NO	ventilazione	NO	SI	SI	NO	NO		
lampada a incandescenza 10 W	tubi fluorescenti	tubi fluorescenti	tubi fluorescenti	lampade fluorescenti	lampada a incandescenza 24 V	tubi fluorescenti	tubi fluorescenti	tubi fluorescenti	tubi fluorescenti	tubi fluorescenti	tubi fluorescenti		
SI	SI	SI	SI	SI	altoparlante	altoparlante	NO	SI	SI	NO	altoparlante - cassa UTC 569		
convertitore+batterie	convertitore+batterie	convertitore+batterie	alternatore 415 V 50 Hz+batterie 110V	convertitore + batterie	convertitore EAU 24 V batteria 24 V	SI	SI	inverter 3 kV c.c./ 180 V 50 Hz	inverter 3 kV c.c./ 180 V 50 Hz	gruppo ACSC CT 10	2 gruppi relativi a GRUPP		
SI	SI	SI	SI	SI	rotocompressore RL3	SI	SI	2 compressori a compressione 241	2 compressori a compressione 241	2 compressori a compressione 241	compressore a compressione 241 VR		
BoBo + BoBo + BoBo	BoBo + BoBo + BoBo	BoBo + BoBo + BoBo	BoBo + BoBo	BoBo + BoBo	BoBo	BoBo + BoBo	BoBo	BoBo + BoBo	BoBo + BoBo	A1-1A + A1-1A	BoBo + BoBo		
2270 (139 x 12)	2400 (200 x 12)	1500 (125 x 12)	662 (82.75 x 8)	2072 (259 x 8)	900 (225 x 4)	2360 (295 x 8)	1180 (295 x 4)	1740 (217.5 x 8)	1760 (220 x 8)	680 (170 x 4)	1360 (170 x 8)		
2520 (210 x 12)	/	/	722 (90.25 x 8)	2304 (288 x 8)	1000 (250 x 4)	/	/	2100 (262.5 x 8)	1984 (248 x 8)	770 (192 x 4)	1540 (192 x 8)		
tiristori	tiristori	reostato	reostato	tiristori	commutatore di bas- sa tensione 520	tiristori	contattore e reostato	reostato	chopper	tiristori	tiristori		
/	/	/	8 motori GEC G310AZ	8 motori 4 PKC 2846	4 motori EM 250	8 motori Orlikon EMW 510	4 motori Orlikon EMW 510	8 motori T 165	8 motori EXG 4052	4 motori AE 121 N	8 motori AE 121 N		
/	/	/	/	/	/	750 V 415 A	750 V 415 A	/	/	150 V	125 A		
/	sospesi per il naso	interamente sospesi	sospesi per il naso	/	/	interamente sospesi	interamente sospesi	interamente sospesi	interamente sospesi	sospesi per il naso	sospesi per il naso		
1 : 2.913	/	22/101 (114.59)	69 : 14	1 : 3.78	1 : 3.32	4.06	4.06	23/56 (1 : 2)	30/77 (1 : 2.56)	3.73 (56/15)	3.38 (71/21)		
/	/	/	925	/	1650	2000	2000	2440	2150	2500	2500		
/	/	/	7.16	5.2	13.1	13.5	13.5	/	/	9.4 senza motori	12.25 senza motori		
850	850	850	840	850	950	1020	1020	140	860	1010	1010		
/	/	/	/	/	1500	/	/	/	/	1990 senza motore	1990 senza motore		
molle in acciaio	molle ad elica	molle ad elica	ammortizz. idraulici	molle in acciaio	4 molle in gomma per ogni asse	molle acciaio + pneumatico	molle acciaio + pneumatico	molle ad elica	molle ad elica	Schlieren a molla	Schlieren a molla		
molle in acciaio	pneumatico + ammor- tizzatore idraulico	pneumatico	pneumatico	pneumatico	4 molle a spirale dop- pia per ogni carrello	pneumatico	pneumatico	molle ad elica	pneumatico	Schlieren a molla	Schlieren a molla		
/	/	/	/	/	acciaio 37	/	/	e 52 D	/	AE 235 C	AE 235 C		
/	SI	/	SI	SI	NO	SI	SI	NO	SI	NO	NO		
a ceppi	a disco sui centri ruota	a disco	a disco	a ceppi	freni a ceppi	bloc-frein tipo 1	bloc - frein	bloc - frein	a ceppi - 1 cilin- dro per ruota	freni a disco e a ceppi			



	1° TIPO				2° TIPO						3° TIPO	
	SBB	DB		BR	SBB	DB	SNCF		PS		SNCF	
	RARe 12/12	ET 420	ET 472	313	RARe 8/16	ET 4030	26400	25300	Ala B01 - 940	G.A.I.	06	08
Posti offerti												
2.7.1 n° posti a sedere	72 + 56 + 72	194 (composiz. base)	196 (composiz. base)	74 + 74	72 + 72	76	72 + 88	87	94 (Ala 940) - 80 (Ala B01)	64 (Ala 644) - 80 (Ala B04)	178 (composiz. base)	100 + 106
2.7.2 n° strapuntini	/	/	/	/	/	NO	20 + 20	12	NO	/	NO	NO
2.7.3 n° posti in piedi (indicare il rapporto n° persone/m <sup>2</sup> utilizzato per il calcolo)	/	381 (compos. base); 6	500 (composiz. base)	126 + 126	/	118 ; 5.17	70 + 109; 5.0	/	/	142 (Ala 644) - 114 (Ala B04)	76 (compos. base); 5.0	~ 40 + 40; 5.0
2.7.4 modulo sedili	mm	vis-à-vis 1650	vis-à-vis 1875	vis-à-vis 1620	vis-à-vis 1640	vis-à-vis 1700	vis-à-vis 1600	vis-à-vis 1540	vis-à-vis 1500	vis-à-vis 1500	800	vis-à-vis 1600 vis-à-vis 1700
3° ritirate e ubicazione	3 (1 per motrice)	NO	NO	NO	NO	NO	NO	1	2 (1 per motrice)	2 (1 per motrice)	2 (1 per motrice)	2 (1 per motrice)
Caratteristiche delle rimorchiate												
Carrelli												
3.1.1 peso	t			4.47	4.2	6.0	5.0	5.2	/	/		7.34
3.1.2 diametro ruote	mm			840	800	950	800	800	940	860		1010
3.1.3 peso della sala montata	kg			/	/	1400	/	/	/	/		1890
3.1.4 tipo di sospensione primaria				ammortizz. idraulici	molle in acciaio	4 molle in gomma per asse	molle acc. + gomma	molle acc. + gomma	molle ad elica	molle ad elica		Schlieren a molle
3.1.5 tipo di sospensione secondaria				pneumatica	pneumatica	4 molle doppie a spirale per carrello	pneumatica	/	molle ad elica	pneumatica		Schlieren a molle
3.1.6 tipo di acciaio impiegato per il telaio				/	/	acciaio 37	/	/	Fe 42 C	/		AE 235 C
3.1.7 dispositivi eventuali di livello cassa costante				SI	SI	NO	SI	NO	NO	SI		NO
3.1.8 organi frenanti e loro sistemazione				a disco	2 fr. a disco x ogni as- se e 1 a coppia x ruota	freni a disco	bloc-freno tipo PS80	classico con timoneria	dischi	2 dischi per sala		v. 12.6.8
Posti offerti												
3.2.1 n° posti a sedere				84	54 + 80	76 - 66	102 + 102	107 + 107 + 82	108 + 108	72 (Le 724) - 88 (Le B04)		96 + 56
3.2.2 n° strapuntini				/	/	NO	24 + 24	22 + 22 + 24	NO	/		NO
3.2.3 n° posti in piedi (indicare il rapporto n° persone/m <sup>2</sup> utilizzato per il calcolo)				116	/	124 - 111	115 + 115; 5.0	/	/	146 (Le 724) - 114 (Le B04)		40 + 20; 5.0 -
3.2.4 modulo sedili	mm			vis-à-vis 1640	vis-à-vis 1700	vis-à-vis 1600	vis-à-vis 1540	vis-à-vis 1500	vis-à-vis 1500	800		vis-à-vis 1700-2
3° ritirate ed ubicazione				NO	2 per rimorchiate; alle estremità	2; all'estremità	NO	3 (1 per rimorchiate)	2 (1 per rimorchiate)	2 (1 per rimorchiate)		2 (1 per rimorchiate)



Materiale automotore diesel



# **Caratteristiche del Materiale Automotore Diesel**

## Composizione e dimensioni - Organi di accoppiamento

		S N C F	D B		F S
		XBD 4900	627	628	ALn 668
1.1	composizione base	+ R + M	M	M + M	M
1.2	composizioni possibili	NO	NO	NO	/
1.3	composizione massima in comando multiplo	2 composizioni base	6 motrici 627	3 composizioni base	M + M
1.4	ripartizione dell'equipaggiamento di trazione				
1.4.1	su un solo rotabile (motrice)	NO	SI	NO	SI
1.4.2	su più rotabili accoppiati	SI	NO	SI	/
1.5	lunghezza delle diverse unità costituenti la composizione base	mm 21240 - 20750 - 21240	22500	22175 - 22175	23540
1.6	interperno delle diverse unità costituenti la composiz. base	mm 15200 - 15400 - 15200	15100	15100	15940
1.7	passo dei carrelli delle diverse unità costituenti la composizione base	mm 2500	1900	1900	2450
1.8	sagoma limite rispettata	UIC 505	UIC	UIC	UIC 505
1.9	altezza del pavimento sul p.d.f.	mm /	1220	1220	1228
1.10	altezza massima interna	mm /	2400	2400	2415
1.11	ubicazione delle cabine di guida	a ciascuna estremità della composizione base	alle due estremità	a ciascuna estremità della composizione base	alle due estremità
1.12	organi di accoppiamento				
1.12.1	alle estremità della composizione base	respingenti + tenditori	automatico Scharfenberg	automatico Scharfenberg	tenditore a vite
1.12.2	fra le vetture intermedie	barra di trazione	NO	/	tenditore a vite
Pesi					
2.1	pesi a vuoto delle diverse unità costituenti la composiz. base	t 37.8 - 24.4 - 37.8	34	32 + 32	37
2.2	carichi massimi ammessi in casi eccezionali sulle diverse unità costituenti la composizione base	t /	43 (a pieno carico)	a pieno carico 77 (composizione base)	49 (a pieno carico)
Freno					
3.1	modello	a ceppi	KNORR KE-P-A pneumatico	KNORR KE-P-A pneumatico	a pressione tipo continuo automatico
3.2	rubinetti di comando	comando elettrico	/	/	FV 3b Oerlikon
3.3	n° e tipo di distributori	J M R	/	/	2 tipo U WESTINGHOUSE
Prestazioni alla composizione base (vedasi cap. 1, § 8)					



	S N C F	D B		F S
	XBD 4900	627	628	Aln 668
- Struttura della cassa				
5.1 materiale impiegato	acciaio	/	/	acciaio
5.2 sforzi di trazione e compressione per cui la struttura è dimensionata t	compressione 150	/	/	secondo fiche UIC 625 - 7
- Porte				
6.1 porte d'accesso				
6.1.1 n° per fiancata e posizionamento	1 (motrici) - 2 (rimorchiata)	2 ; all'estremità	2 ; all'estremità	2 (1/3 e 2/3 fiancata)
6.1.2 tipo della porta (a battente, a libro, scorrevole, etc.)	a libro	scorrevole	scorrevole	a libro
6.1.3 tipo di comando e dispositivi di sicurezza applicati	elettropneumatico	pneumatico	pneumatico	pneumatico
6.1.4 luce effettiva mm	/	758	768	1110
6.2 porte intercomunicanti				
6.2.1 tipo per le testate intermedie	scorrevole	NO	intercomunicanti senza porte	a battente
6.2.2 tipo per testate di estremità della composizione	NO	NO	NO	a battente
6.2.3 luce effettiva mm	~ 900	NO	~ 1100	~ 900
6.3 porte interne				
6.3.1 n°, tipo e dimensioni	scorrevole	2; scorrevole; 560 mm	3; scorrevole; 560 mm	7; a battente
- Intercomunicanti				
7.1 tipo per le testate intermedie	rulli di gomma	NO	rulli di gomma	a mantici
7.2 tipo per le testate di estremità della composizione	NO	NO	NO	/
- Gradini di accesso				
8.1 n° e altezza sul p.d.f.	2	3	3; 578-792 e 1006 mm sul p.d.f.	2; 622 e 923 mm sul p.d.f.
8.2 tipo di azionamento di eventuali gradini rientrabili	NO	NO	NO	NO
- Servizi ausiliari				
9.1 riscaldamento	termoventilazione	radiatori	radiatori	10 aerotermi
9.2 condizionamento estivo e/o invernale	NO	/	/	NO



		XBD 4900	D B		Aln 668
			627	628	
9.3 illuminazione		tubi fluorescenti	tubi fluorescenti	tubi fluorescenti	tubi fluorescenti + lampade
9.4 interfono		SI	SI	SI	NO
9.5 produzione di energia per i servizi		/	generatore + batterie 110 V	generatore + batterie 110 V	alternatore BOSCH
9.6 produzione di aria compressa		SI	SI	SI	compressore MORINI AQ 75
Caratteristiche delle motrici					
10.1 rodiggio		B'2' + B'2'	B'2'	2'2' + 2'2'	1A + A1
10.2 motori			Daimler Benz G' 404 Klöckner-Humbolt-Deutz F12	Daimler Benz G' 404 Klöckner-Humbolt-Deutz F12 Man D 3256	
10.2.1 modello		2 motori SAUER SDHR			2 motori FIAT 8247.22.032
10.2.2 potenza nominale UIC	kW	660 (330 x 2)	309 (DB) - 302 (HID)	2x300 (DB) - 224 (HID) - 212 (MAN)	~ 412 (206 x 2)
10.2.3 peso	kg	3660	1304 (DB) - 1280 (HID)	1304 (DB) - 1220 (HID) - 1190 (MAN)	1420
10.2.4 sistemazione		sotto pavimento, longitud.	sul telaio	sul telaio	sulla cassa in tre parti
10.2.5 tipo di sospensione		3 punti - supporti elastici	elastica	elastica	elastica
10.3 trasmissione					
10.3.1 tipo		idraulico	idraulico	idraulico	giunto idraulico e frizione
10.3.2 peso	t	2.7	/	/	/
10.4 carrelli motori					
10.4.1 peso	t	5.5	/	/	/
10.4.2 diametro delle ruote	mm	360	760	760	920
10.4.3 peso della sala montata	kg	/	/	/	/
10.4.4 tipo di sospensione primaria		molle acciaio	a molle	a molle	molle a elica
10.4.5 tipo di sospensione secondaria		molle acciaio + ammortizz.	pneumatico	pneumatico	molle ad elica
10.4.6 tipo di acciaio impiegato per il telaio		/	/	/	/
10.4.7 dispositivi eventuali di livello cassa costante		NO	/	/	NO
10.4.8 organi frenanti e loro sistemazione		distributore + cilindro + timoneria	a disco	a disco	a ceppi con 4 cilindri fren.
10.5 posti offerti					
10.5.1 n° posti a sedere		47 + 47	66	60 + 76	68
10.5.2 n° strapuntini		NO	/	/	NO
10.5.3 n° posti in piedi (indicare il rapporto n° persone/m <sup>2</sup> utilizzato per il calcolo)		/	/	/	/
10.5.4 modulo sedili	mm	~ 900	vis-à-vis 1670	vis-à-vis 1670	vis-à-vis 1670



			XBD 4900	D B		Aln 668
				627	628	
10.6 n° ritirate ed ubicazione			1 + 1	1	1 + 1	1
Caratteristiche delle rimorciate						
11.1 carrelli						
11.1.1 peso	t		4.0			
11.1.2 diametro ruote	mm		860			
11.1.3 peso della sala montata	kg		/			
11.1.4 tipo di sospensione primaria			molle acciaio			
11.1.5 tipo di sospensione secondaria			molle acciaio+ammortizzat.			
11.1.6 tipo di acciaio impiegato per il telaio			/			
11.1.7 dispositivi eventuali di livello cassa costante			NO			
11.1.8 organi frenanti e loro sistemazione			distributore + cilindro + timoneria			
11.2 posti offerti						
11.2.1 n° posti a sedere			60			
11.2.2 n° strapuntini			NO			
11.2.3 n° posti in piedi (indicare il rapporto n° persone/m <sup>2</sup> utilizzato per il calcolo)			/			
11.2.4 modulo sedili			~ 900			
11.3 n° ritirate ed ubicazione			1	1		



Materiale rimorchiato



# CARATTERISTICHE DEL MATERIALE RIMORCHIATO (\*)

		F S		S N C F			
		nB	npBD	Be	Bxe	ABe	BDe
1 - Tipo di impiego							
1.1 lunghezza media dei servizi effettuati	km		70			45	
1.2 distanza media tra le fermate	km		6			3	
2 - Eventuali limiti di composizione			13 carrozze			8 carrozze	
3 - Sagoma limite rispettata			UIC 550			UIC	
4 - Dimensioni principali							
4.1 lunghezza della cassa	mm		26100	23980	23920	23930	23920
4.2 lunghezza fra i respingenti	mm		26100	24280	24780	24280	24280
4.3 interperno	mm		19000			17200	
4.4 passo dei carrelli	mm		2400			2400	
4.5 altezza del pavimento sul p.d.f.	mm		601 - 1181 (vestiboli)	365 (compartimento inferiore) - 2342 (compartimento superiore)			
4.6 altezza massima interna	mm		2460 - 2270 (vestiboli)	1921 (compartimento inferiore) - 1938 (compartimento superiore)			
5 - Pesì							
5.1 peso a vuoto	t	38,2	38,0	41,0	47,5	42,0	40,5
5.2 carico massimo ammesso in casi eccezionali	t	16,0	11,2			160 (per composizione max)	
6 - Organi di accoppiamento							
6.1 manuale			SI			SI	
6.2 automatico (tipo)			NO			NO	
7 - Struttura della cassa							
7.1 materiale impiegato			acciaio Fe 42			acciaio	
7.2 rispetto fiche UIC per gli sforzi di trazione e compressione			SI			SI - fiche 567	
8 - Carrelli							
8.1 peso	t		6,2			5,9	
8.2 diametro ruote	mm		940			840	
8.3 peso della sala montata	t		1,5			/	

(\*) Alle Amministrazioni Ferroviarie erano state richieste anche le caratteristiche delle locomotive utilizzate per rimorchiare il materiale rotabile in oggetto. La mancanza di risposta fa ritenere che non vi siano locomotive specializzate per il traino di materiale destinato ai servizi vicinali.



	F S		S N C F			
	nB	npBD	Be	Bxe	ABe	EDe
8.4 tipo di sospensione primaria	molle a elica + ammortizzatori		molle in gomma			
8.5 tipo di sospensione secondaria	molle a elica + ammortizzatori		pneumatica			
8.6 tipo di acciaio impiegato per il telaio	Fe 42 c		acciaio			
8.7 dispositivi di livello cassa costante	NO		SI			
8.8 tipo e sistemazione degli organi frenanti	dischi		a ceppi e a disco			
9 - Freno						
9.1 modello	WESTINGHOUSE tipo U		pneumatico (CG + CP)			
9.2 sistema di comando	pneumatico		classico			
10 - Porte d'accesso						
10.1 n° per fiancata e posizionamento	2 (1/3 e 2/3 fiancata)		2 (all'estremità)			
10.2 tipo della porta (a battente, a libro, scorrevole, etc.)	a libro		scorrevole			
10.3 tipo di comando e dispositivi di sicurezza applicati	pneumatico		pneumatico - chiusura automatica			
10.4 luce effettiva mm	1100		1800			
11 - Porte intercomunicanti						
11.1 tipo	scorrevole		scorrevole			
11.2 luce effettiva mm	650		650			
12 - Porte interne						
12.1 n°, tipo e dimensioni	4 di accesso ai vestiboli; scorrevole		a battente			
13 - Intercomunicanti						
13.1 tipo	rulli di gomma		rulli di gomma			
14 - Gradini di accesso						
14.1 n° e altezza sul p.d.f. mm	NO		1; 680 mm sul p.d.f.			
14.2 tipo di azionamento di eventuali gradini rientrabili	NO		NO			
15 - Posti offerti						
15.1 n° posti a sedere	100	70	86 (infer.) + 78 (sup.)	56 (infer.) + 78 (sup.)	74 (infer.) + 70 (sup.)	78 (infer.) + 78 (sup.)
15.2 n° strapuntini	NO	5 (di servizio)	11	11	11	9



	F S		S N C F			
	nB	npBD	Be	Bxe	ABe	BDe
15.3 n° posti in piedi (indicare il rapporto n° persone/m <sup>2</sup> utilizzato per il calcolo)	92 ; 4	80 ; 4	132 ; 5	123 ; 5	124 ; 4 ÷ 5	127 ; 5
15.4 modulo sedili	mm	vis-à-vis 1500	vis-à-vis 1540			
16 - N° ritirate ed ubicazione		1 all'estremità	1 all'estremità	1 all'estremità	2 all'estremità	1 all'estremità
17 - Servizi ausiliari						
17.1 riscaldamento		termoventilazione		termoventilazione		
17.2 condizionamento estivo e/o invernale		ventilazione estiva		ventilazione estiva		
17.3 illuminazione		tubi fluorescenti		tubi fluorescenti		
17.4 interfono		SI		SI		
17.5 produzione di energia per i servizi		convertitore statico	NO	SI per tutto il treno	NO	NO
17.6 produzione di aria compressa		/	NO	SI per tutto il treno	NO	NO











